



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR
AKIBAT RANCANGAN PENGENDALI
TRAJECTORY PADA KAPAL *CONTAINER*
DENGAN LINTASAN SURABAYA-
BANJARMASIN**

SUSI YANTI NURRAINI
NRP. 2414 106 034

Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 141581

**AN ANALYSIS OF FUEL USE DUE TO THE
DESIGN OF TRAJECTORY CONTROLLER ON
CONTAINER SHIP WITH SURABAYA-
BANJARMASIN TRACK**

SUSI YANTI NURRAINI
NRP. 2414 106 034

Supervisors :
Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Susi Yanti Nurraini

NRP : 2414106034

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR AKIBAT RANCANGAN PENGENDALI *TRAJECTORY* PADA KAPAL *CONTAINER* DENGAN LINTASAN SURABAYA-BANJARMASIN” adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Susi Yanti Nurraini

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR AKIBAT RANCANGAN PENGENDALI *TRAJECTORY* PADA KAPAL *CONTAINER* DENGAN LINTASAN SURABAYA- BANJARMASIN

Oleh :

Susi Yanti Nurraini

NRP. 2414 106 034

Surabaya, 13 Juli 2017

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**



Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
NIPN. 196601161989032001

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II**



Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng.
NIPN. 195808071984031001

**Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Harta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR AKIBAT
RANCANGAN PENGENDALI *TRAJECTORY* PADA
KAPAL *CONTAINER* DENGAN LINTASAN SURABAYA-
BANJARMASIN**






TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SUSI YANTI NURRAINI
NRP. 2414 106 034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T. |  |(Pembimbing I) |
| 2. Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng. |  |(Pembimbing II) |
| 3. Ir. Ya'umar, M.T. |  |(Penguji I) |
| 4. Hendra Cordova, S.T., M.T. |  |(Penguji II) |
| 5. Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T. |  |(Penguji III) |

**SURABAYA
JULI, 2017**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR AKIBAT
RANCANGAN PENGENDALI *TRAJECKTORY* PADA
KAPAL *CONTAINER* DENGAN LINTASAN SURABAYA-
BANJARMASIN**

Nama : Susi Yanti Nurraini
NRP : 2414 106 034
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Aulia S. Aisjah, M.T.
2. Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng.

Abstrak

Analisa penggunaan bahan bakar akibat rancangan pengendali trayektori pada Kapal *Container* Tanto Fajar 3 dengan lintasan Surabaya-Banjarmasin. Sebuah penelitian yang dilatarbelakangi oleh jumlah penggunaan bahan bakar yang berubah-ubah setiap melakukan operasi pelayaran akibat adanya gangguan gelombang laut pada Laut Jawa. Perancangan pengendali dengan kontrol KLF Takagi-Sugeno dengan simulasi bantuan *Software* Matlab. Hasil uji simulasi setelah dilakukan rancangan pengendali pada sisitem kapal didapatkan besar pengurangan lintasan pada trayektori tanpa gangguan maksimal sebesar 12,07 km, trayektori dengan gangguan ketinggian gelombang laut 1,5 meter maksimal sebesar 9,4 km dan pada ketinggian gelombang laut 2,5 meter maksimal sebesar 8,45 km. Pengurangan penggunaan bahan bakar pada trayektori kapal tanpa gangguan didapatkan maksimal sebesar 303,8 liter, trayektori kapal dengan ketinggian gangguan gelombang laut 1,5 meter didapatkan maksimal sebesar 236,6 liter dan pada ketinggian gelombang laut 2,5 meter didapatkan maksimal sebesar 212,69 liter.

Kata Kunci : Kapal *Container* Tanto Fajar 3, KLF, Bahan bakar, Takagi Sugeno, Trayektori, Gelombang Laut, Matlab

Halaman ini sengaja dikosongkan

**AN ANALYSIS OF FUEL USE DUE TO THE DESIGN OF
TRAJECTORY CONTROLLER ON CONTAINER SHIP
WITH SURABAYA-BANJARMASIN TRACK**

Name : Susi Yanti Nurraini
NRP : 2414 106 034
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervysors : 1. Prof. Dr. Ir. Aulia S. Aisjah, MT
2. Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng

Abstract

Analysis of fuel use due to the design of trajectory controllers of Container Tanto Fajar 3 vessels with the Surabaya-Banjarmasin trajectory. A study of the varying amount of fuel usage during shipping operations due to sea waves disruption in the Java Sea. The design of the controller of the control of KLF Takagi-Sugeno with Matlab Software helped simulation. The result of simulation tests after the controller design on the system of the vessel has a great reduction in the trajectory without the maximum disturbance of 12.07 kms, the trajectory with sea wave height interference 1.5 meters maximum of 9.4 kms and at sea wave height 2.5 meters Maximum of 8.45 kms. The reduction of fuel usage in uninterrupted ship trajectory is maximal 303,8 liters, ship trajectory with height of sea wave interference 1.5 meters obtained maximum of 236,6 liters and at sea wave height 2,5 meters obtained maximum 212,69 liters.

Keywords: Ship Container of Tanto Fajar 3, KLF, Fuel, Takagi Sugeno, Trajectory, Sea Wave, Matlab

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul **ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR AKIBAT RANCANGAN PENGENDALI *TRAJECTORY* PADA KAPAL *CONTAINER* DENGAN LINTASAN SURABAYA-BANJARMASIN.**

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T. dan Bapak Dr. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Ir. Ya'umar, M.T., Hendra Cordova, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan waktunya untuk menguji penulis ketika sidang.
4. Bapak Totok Ruki Biyanto S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
5. Bapak Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku dosen wali penulis.
6. Kedua orang tua (Bapak H. Fatoni dan Ibu Hosna) serta saudara (Kakak Sam Haji, Kakak Mahmudi, Mbak Hamim, Mbak Karimah, Adik Muhammad, dan Adik Faiz). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

7. Seluruh teman berbagi ilmu Tugas Akhir (Rosyi Modica Sari, Imroatul, Rizaldi, Mas Ilmi dan Firsan), terima kasih untuk semuanya.
8. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 13 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR - TF 141581	i
FINAL PROJECT - TF 141581.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
Lembar Pengesahan I	v
Lembar Pengesahan II.....	ix
Abstrak	xi
Abstract	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 Kapal Container	5
2.2 Model Dinamika Kapal	5
2.3 Model Dinamika Rudder.....	10
2.4 Model Gangguan Kapal	11
2.5 Karakteristik Kondisi Laut.....	11
2.6 Energi yang Dibutuhkan Untuk Pelayaran Kapal	12
2.7 Sistem Kendali Fuzzy	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Studi Literatur	18
3.2 Pengumpulan Data Kapal Tanto Fajar 3	18
3.3 Trayektori Pelayaran Kapal.....	18
3.3.1 Penentuan Lintasan Kapal dari Surabaya-Banjarmasin	19
3.4 Pemodelan Sistem Dinamika Kapal Container	20
3.4.1 Pemodelan aktuator.....	22
3.4.2 Pemodelan Gyrocompass	23
3.4.3 Pemodelan Gangguan Berupa Gelombang Laut	23

3.5	Analisa Penggunaan Bahan Bakar Akibat Rancangan Pengendali	25
3.5.1	Hubungan Antara Kebutuhan Jumlah Energi terhadap Lintasan Pelayaran	26
3.6	Perancangan Kendali Trayektori dengan Menggunakan Kendali Logika Fuzzy	26
3.6.1	Kendali Logika Fuzzy pada Rudder	27
3.7	Simulasi Pengujian Sistem Kendali dengan Menggunakan Bantuan Software Matlab	32
3.7.1	Uji Open Loop	32
3.7.2	Uji Close Loop	32
3.8	Penyusunan Laporan	34
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Analisa Uji Open Loop	35
4.2	Analisa Uji Close Loop	37
4.3	Analisa Hasil Uji Tracking Close Loop Tanpa Gangguan	39
4.4	Analisa Hasil Uji Tracking Close Loop dengan Gangguan	49
4.5	Perhitungan Penggunaan Bahan Bakar Setelah Dilakukan Perancangan Pengendali	55
4.5.1.	Pengurangan Lintasan Kapal Container dari Surabaya-Banjarmasin Dalam Keadaan Tanpa dan Dengan Adanya Gangguan Gelombang	58
4.5.2.	Analisa Penggunaan Bahan Bakar Kapal Container Tanto Fajar 3 Surabaya-Banjarmasin Dalam Keadaan Tanpa dan dengan Adanya Gangguan Gelombang Laut	59
BAB V	PENUTUP	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Derajat Kebebasan Kapal (Fossen T. I., 1996).....	7
Gambar 2. 2 Diagram Control Loop Rudder (Fossen T. I., 1996)	10
Gambar 2. 3 Diagram Control Loop Rudder (Fossen T. I., 1996)	14
Gambar 2. 4 Struktur Dasar Logika Fuzzy (Sari, 2016).....	15
 Gambar 3. 1 Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir	17
Gambar 3. 2 Peta Pelayaran Surabaya-Banjarmasin	19
Gambar 3. 3 Diagram Blok Rudder.....	22
Gambar 3. 4 Diagram Blok Gyrocompass	23
Gambar 3. 5 Grafik Data Ketinggian Gelombang Perairan Laut Jawa Berdasarkan Jadwal Pelayaran Kapal Container Tanto Fajar 3	24
Gambar 3. 15 Rule viewer Logika Fuzzy pada Kendali Rudder.	34
 Gambar 4. 1 Respon Sinyal Uji Open Loop masukan 20°	36
Gambar 4. 2 Respon Sinyal Uji Open Loop masukan 30°	36
Gambar 4. 3 Respon Sinyal Uji Close Loop dengan masukan 20°	38
Gambar 4. 4 Respon Sinyal Uji Close Loop dengan masukan 30°	38
Gambar 4. 5 Rule viewer dari iterasi rule fuzzy pada sistem kendali rudder	40
Gambar 4. 6 Grafik Koordinat Desired	41
Gambar 4. 7 Grafik Koordinat Aktual.....	41
Gambar 4. 8 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin	44
Gambar 4. 9 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan Pembagian 18 Titik Koordinat.....	44
Gambar 4. 10 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan error lintasan 1,18 m	45
Gambar 4. 11 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan error lintasan 1,17 m	46

Gambar 4. 12 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan error lintasan 4,65 m	46
Gambar 4. 13 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan error lintasan 4,75 m	47
Gambar 4. 14 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan error lintasan 4,46 m	48
Gambar 4. 15 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan error lintasan 3,85 m	48
Gambar 4. 17 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan Gangguan Ketinggian 1,5 meter	50
Gambar 4. 18 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan Gangguan Ketinggian 2,5 meter	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Derajat Kebebasan Kapal (Fossen T. I., 1996).....	6
Tabel 2. 2 Kode Sea State Berdasarkan Ketinggian Gelombang Laut dan Karakteristiknya (Fossen T. I., 1994).....	12
Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Kapal Container Tanto Fajar 3	18
Tabel 3. 2 Koordinat Pelayaran Surabaya-Banjarmasin.....	20
Tabel 3. 3 Penggunaan Bahan Bakar pada Kapal Container Tanto Fajar 3 terhadap Lintasan Surabaya-Banjarmasin	26
Tabel 3. 4 Rule Base Pengendalian KLF pada Rudder	31
Tabel 4. 1 Koordinat Lintasan Kapal Pada Pengujian Close Loop Tanpa Gangguan Dengan Kendali Logika Fuzzy Tipe Takagi-Sugeno.....	42
Tabel 4. 2 Koordinat Lintasan Kapal Pada Pengujian Close Loop dengan Gangguan Gelombang Setinggi 1,5 meter menggunakan Kendali Logika Fuzzy Tipe Takagi-Sugeno.....	51
Tabel 4. 3 Koordinat Lintasan Kapal Pada Pengujian Close Loop dengan Gangguan Gelombang Setinggi 2,5 meter menggunakan Kendali Logika Fuzzy Tipe Takagi-Sugeno.....	53
Tabel 4. 4 Penggunaan Bahan Bakar (ℓ/km) Rute Surabaya-Banjarmasin Berdasarkan Data Real.....	56
Tabel 4. 5 Keadaan Laut Jawa ketika kapal container melakukan pelayaran pada periode bulan April-Juni 2016.....	57
Tabel 4. 6 Pengurangan Panjang Lintasan Kapal Container Dalam Keadaan Tanpa dan Dengan Gangguan Gelombang	58
Tabel 4. 7 Analisa Penggunaan Bahan Bakar Kapal Container Tanto Fajar 3 Surabaya-Banjarmasin Dalam Keadaan Tanpa dan Dengan Adanya Gangguan Gelombang	60

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kemaritiman yang memiliki 2/3 luas lautan. Secara geografis Indonesia terletak diantara dua benua (Asia, Australia) dan dua samudera (Hindia, Pasifik). Posisi tersebut merupakan kawasan paling dinamis dalam aktivitas perdagangan dan pelayaran. Aktivitas perdagangan dan pelayaran yang dilakukan di Indonesia salah satunya adalah menggunakan kapal *container* sebagai alat transportasi. Salah satu kapal *container* yang digunakan adalah Kapal *Container* Tanto Fajar 3 rute Surabaya-Banjarmasin milik Perusahaan Pelayaran Tanto Intim Line Surabaya. Rute Surabaya menuju Banjarmasin merupakan kawasan Laut Jawa yang memiliki kondisi perairan bergelombang. Gelombang laut merupakan salah satu gangguan yang mempengaruhi perubahan lintasan suatu kapal yang sedang melakukan pelayaran. Dan kondisi keadaan laut di Laut Jawa terbagi menjadi tiga yaitu, *slight sea* dengan ketinggian gelombang antara 0,5-1,25 meter, *moderate sea* dengan ketinggian gelombang 1,25-2,5 meter dan *rough sea* dengan ketinggian gelombang 2,5-4 meter. Akibat perubahan lintasan yang disebabkan oleh ketinggian gelombang pada Laut Jawa mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan selama melakukan operasi pelayaran. Semakin tinggi gelombang laut yang terjadi maka akan semakin jauh lintasan yang ditempuh oleh kapal saat melakukan pelayaran. Jauh lintasan yang dilalui akan memberikan dampak pada banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan. Banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan juga akan mempengaruhi besar anggaran yang disiapkan oleh perusahaan pelayaran.

Menjawab permasalahan di atas maka dilakukan sebuah rancangan pengendali trayektori pada Kapal *Container* Tanto Fajar 3. Pengendalian laju kapal tersebut dilakukan agar kapal tetap mampu melintas sesuai dengan rute yang dilintasinya selama ada gelombang laut yang mengganggu sepanjang melakukan operasi

pelayaran. Kontrol pengendali pada kapal menggunakan kontrol logika *fuzzy* tipe takagi-sugeno. Dan untuk simulasi trayektori kapal menggunakan bantuan *software* Matlab 2014a. Judul Tugas Akhir pada penelitian ini adalah “Analisis Penggunaan Bahan Bakar Akibat Rancangan Pengendali *Trajectory* pada Kapal *Container* dengan Lintasan Surabaya-Banjarmasin”.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Apakah pengendali otomatis arah kapal berdampak pada perubahan lintasan Kapal *Container* Tanto Fajar 3?
2. Apakah sistem pengendali otomatis berdampak pada penggunaan bahan bakar Kapal *Container* Tanto Fajar 3?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Kapal yang digunakan adalah Kapal *Container* Tanto Fajar 3 milik Perusahaan Pelayaran Tanto Intim Line Surabaya.
2. Variabel yang dikendalikan adalah sudut *yaw*.
3. Metode yang digunakan pada perancangan sistem kendalinya adalah metode Kendali Logika *Fuzzy* (KLF) tipe Takagi-Sugeno.
4. Gangguan pada kapal adalah berupa gelombang laut.
5. Simulasi pengujian sistem kendali dengan menggunakan bantuan *software* Matlab.

1.4 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Didapatkan pengaruh perubahan lintasan Kapal *Container* Tanto Fajar 3 sepanjang Surabaya-Banjarmasin.
2. Didapatkan pengaruh perubahan penggunaan bahan bakar Kapal *Container* Tanto Fajar 3 selama beroperasi sepanjang lintasan Surabaya-Banjarmasin.

1.5 Manfaat

Berdasarkan tujuan di atas maka manfaat dari Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisis penggunaan bahan bakar akibat rancangan pengendali *trajectory* pada Kapal *Container* Tanto Fajar 3 dengan lintasan Surabaya-Banjarmasin.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Kapal Container

Kapal *Conatiner* adalah salah satu jenis kapal yang berfungsi sebagai kendaraan pengangkut barang di laut. Kapal yang memiliki bentuk dan kontruksi yang dirancang sesuai dengan fungsinya. Berdasarkan fungsinya kapal container memiliki jarak tempuh selama melakukan operasi pelayaran. Jarak tempuh kapal ditentukan oleh lintasan kapal selama berlayar. Lintasan kapal berlayar sangat menentukan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan. Kapal container juga memiliki koefisien bentuk kapal yang dirancang sesuai dengan fungsinya sebagai kendaraan pengangkut. Koefisien bentuk pada kapal menentukan kemampuan angkut, kecepatan dan olah gerak saat kapal berlayar. Koefisien bentuk pada kapal salah satunya adalah *Coefficient Block* (C_b). *Coefficient Block* adalah perbandingan isi karene dengan balok dengan panjang (L), lebar (B) dan tinggi (T). Hal ini juga berlaku untuk tiap-tiap *water line*. Dengan demikian C_b dapat dirumuskan sebagai berikut: (Aripin, Samuel, & Amiruddin, 2014)

$$C_b = \frac{V}{(L \times B \times T)} \quad (2.1)$$

2.2 Model Dinamika Kapal

Model dinamika kapal dinyatakan dalam 6 derajat kebebasan. Derajat kebebasan terbagi menjadi dua yaitu gerak translasi (*surge*, *sway*, *heave*) dan gerak rotasi (*roll*, *pitch*, *yaw*). Derajat kebebasan ini juga biasa disebut sebagai komponen gerak (Fossen T. I., 1996). Gerak derajat kebebasan ini akan dijelaskan melalui Tabel 2.1 dan Gambar 2.1.

Tabel 2. 1 Derajat Kebebasan Kapal (Fossen T. I., 1996)

DOF	Gerakan	Gaya dan Momen	Kecepatan Linear dan Angular	Posisi dan Sudut Euler
1	Gerak pada arah-x (<i>surge</i>)	X	u	x
2	Gerak pada arah-y (<i>sway</i>)	Y	v	y
3	Gerak pada arah-z (<i>heave</i>)	Z	w	z
4	Rotasi pada sumbu-x (<i>roll</i>)	K	q	θ
5	Rotasi pada sumbu-y (<i>pitch</i>)	M	p	ϕ
6	Rotasi pada sumbu-z (<i>yaw</i>)	N	r	ψ

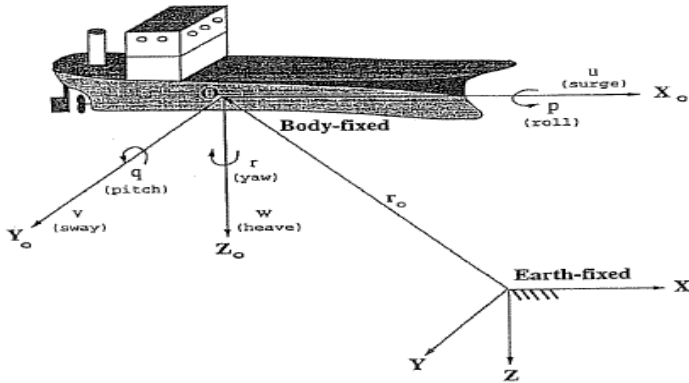
Bentuk umum persamaan gerakan 6 derajat kebebasan dinyatakan dalam bentuk :

$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau$

(2. 2)

Dimana :

- M = matriks inersia
- C (v) = matriks dari *coriolis* dan disebut gaya sentripetal
- D (v) = matriks redaman
- $g(\eta)$ = vektor dari gaya dan momen gravitasi
- τ = vektor dari input kendali
- v = vektor kecepatan angular dan linear, $v = [u, v, r]^T$



Gambar 2. 1 Derajat Kebebasan Kapal (Fossen T. I., 1996)

Persamaan kecepatan dan sistem kemudi kapal akan sesuai berdasarkan beberapa asumsi, yaitu:

- Distribusi massa homogen dan bidang xz simetris ($I_{xy} = I_{yz} = 0$)
- Mode heave, roll dan pitch* dapat diabaikan ($\omega = p = q = \dot{\omega} = \dot{p} = \dot{q} = 0$)

Sehingga persamaan gerak kapal untuk arah *surge*, *sway* dan *yaw* dapat dilihat pada persamaan 2.3 sampai 2.5

$$\text{Surge} : m(u - vr - x_G r^2) = X \quad (2.3)$$

$$\text{Sway} : m(\dot{V} + ur + x_G r) = Y \quad (2.4)$$

$$\text{Yaw} : I_z r + m x_G (\dot{V} + ur) = N \quad (2.5)$$

Pemodelan dinamika kapal didapatkan dari pendekatan yang dilakukan oleh Nomoto dan didapatkan model dinamika sebagai persamaan matematis orde 2. Berikut ini adalah fungsi transfer model matematis orde 2 pada persamaan 2.6.

$$\frac{\psi}{\delta_R}(s) = \frac{K_R(1+T_3s)}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad (2.6)$$

Parameter-parameter dari fungsi transfer persamaan 2.6 didapatkan dari penurunan persamaan hidrodinamika seperti pada persamaan 2.7 dan 2.8.

$$T_1 T_2 = \frac{\det(M)}{\det(N)} \quad (2.7)$$

$$T_1 + T_2 = \frac{n_{11}m_{22} + n_{22}m_{11} - n_{12}m_{21} - n_{21}m_{12}}{\det(N)} \quad (2.8)$$

Dimana elemen m_{ij} , n_{ij} dan b_i ($i=1,2$ dan $j=1,2$) didapatkan dari matriks persamaan 2.9.

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_g - Y_{\dot{r}} \\ mx_g - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix}, N(u_0) = \begin{bmatrix} -Y_u & mu_0 - Y_r \\ N_u & mx_g u_0 - N_r \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Pada matriks M dan N persamaan 2.9 mengandung parameter hidrodinamika kapal yang memiliki definisi sebagai berikut.

m = massa kapal,

$Y_{\dot{v}}$ = turunan gaya arah *sway* terhadap \dot{v} ,

$Y_{\dot{r}}$ = turunan gaya *yaw* terhadap \dot{r} ,

$N_{\dot{r}}$ = turunan momen *yaw* terhadap \dot{r} ,

Y_v = turunan gaya arah *sway* terhadap v ,

Y_r = turunan gaya arah *yaw* terhadap r ,

N_v = turunan momen *sway* terhadap v ,

$N_{\dot{v}}$ = turunan momen *sway* terhadap \dot{v} ,

N_r = turunan momen *yaw* terhadap r ,

x_g = pusat massa.

Parameter dalam penentuan gain kendali diturunkan oleh Nomoto berdasarkan linierisasi dari model Davidson dan Schiff. Dan n_{21} adalah nilai koefisien baris ke-2 dan kolom 1 pada matriks N. Bentuk persamaan gain adalah sesuai dengan persamaan 2.10 dan 2.11.

$$K_R = \frac{n_{21}b_1 - n_{11}b_2}{\det(N)} \quad (2.10)$$

$$K_R T_3 = \frac{m_{21}b_1 - m_{11}b_2}{\det(N)} \quad (2.11)$$

Nilai b_1 dan b_2 pada persamaan 2.10 dan 2.11 didapatkan dari persamaan 2.12 dan persamaan 2.13.

$$b_1 = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_{\delta} - (mx_g - Y_{\dot{r}})N_{\delta}}{\det(M)} \quad (2.12)$$

$$b_2 = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_{\delta} - (mx_g - N_{\dot{v}})Y_{\delta}}{\det(M)} \quad (2.13)$$

Pada pendekatan teori *slender body strip* turunan koefisien hidrodinamika dapat dinyatakan sebagai fungsi dari rasio panjang terhadap lebar dari kapal, dengan dikalikan sebuah konstanta tertentu. Smitt (1970), Norrbin (1971) dan Inouse (1981) mengembangkan suatu rumusan secara empiris dari beberapa persamaan turunan koefisien hidrodinamika yang dikemukakan oleh Clarke (1982). Bentuk persamaan regresi tersebut dinyatakan dalam persamaan 2.14 sampai dengan 2.21. Koefisien hidrodinamika pada persamaan 2.14 sampai dengan 2.21 merupakan bentuk non dimensi yang diturunkan dengan sistem *Prime I* (Fossen T. I., 1996). Untuk memperoleh besaran gaya dikalikan dengan $\frac{1}{2} \rho U^2 L^2$ dan momen dikalikan dengan $\frac{1}{2} \rho U^2 L^3$. Dimana ρ = rapat massa air laut (1014 kg/m^3), L = panjang kapal, U = kecepatan servis kapal, B = lebar kapal, T = kedalaman kapal, C_B = koefisien blok.

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.16 \frac{C_B B}{T} - 5.1 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \quad (2.14)$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = 0.67 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.0033 \left(\frac{B}{T} \right)^2 \quad (2.15)$$

$$\frac{-N'_v}{\pi(T/L)^2} = 1.1 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.041 \left(\frac{B}{T} \right) \quad (2.16)$$

$$\frac{-N'_r}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{12} + 0.017 \frac{C_B B}{T} - 0.33 \left(\frac{B}{L} \right) \quad (2.17)$$

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.4 \frac{C_B B}{T} \quad (2.18)$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.08 \left(\frac{B}{T} \right) \quad (2.19)$$

$$\frac{-N'_v}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{2} + 2.4 \left(\frac{T}{L} \right) \quad (2.20)$$

$$\frac{-N'_r}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{4} + 0.039 \frac{B}{T} - 0.56 \left(\frac{B}{L} \right) \quad (2.21)$$

Sedangkan untuk gaya dan momen yang diakibatkan oleh *rudder*, dapat dilihat pada persamaan 2.22 dan 2.23.

$$Y_{\delta} = \rho \frac{\pi A_{\delta}}{4 L T} \quad (2.22)$$

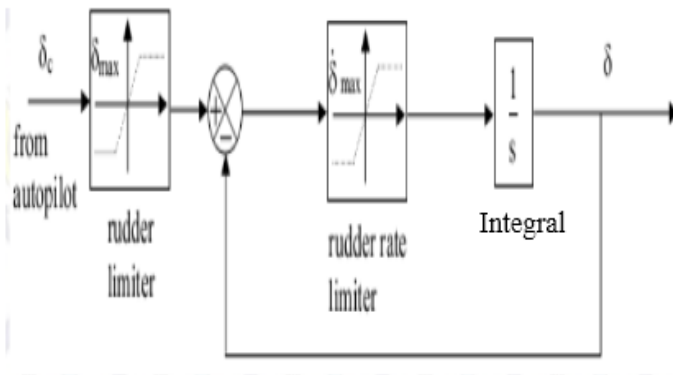
$$N_{\delta} = -\frac{1}{2} Y_{\delta} \quad (2.23)$$

Sehingga fungsi transfer antara *yaw rate* dan *sudut rudder* dapat dilihat pada persamaan 2.24, yang merupakan turunan dari persamaan 2.5.

$$\frac{\psi}{\delta_R} = \frac{K_R(1+T_3s)}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad (2.24)$$

2.3 Model Dinamika Rudder

Rudder merupakan kemudi pada kapal yang berfungsi untuk menentukan arah kapal sesuai dengan perintah kendaliler. Kemudi yang sering digunakan pada kapal adalah tipe Van Amerongen. *Rudder* memiliki spesifikasi sudut sebesar -35° sampai 35° dengan laju kerja *rudder* antara $-7^{\circ}/s$ sampai $7^{\circ}/s$. Diagram *control loop rudder* pada gambar 2.2 merupakan diagram blok untuk mensimulasikan dinamika *rudder* Van Amerongen.



Gambar 2. 2 Diagram Control Loop Rudder (Fossen T. I., 1996)

Gambar diagram di atas menunjukkan diagram untuk mensimulasikan *rudder* Van Amerongen pada uji simulasi *trajectory* menggunakan *simulink* pada *software* Matlab. Masukan untuk rudder Van Amerongen berupa *command rudder* (δ_c).

Kemudian terdapat *function block saturation* yang berfungsi sebagai pembatas untuk *range* keluaran dari *rudder*. Integral sebagai kontrol untuk mendapatkan sinyal respon yang sesuai dengan output yang diharapkan. Sedangkan keluaran dari *rudder* Van Amerongen berupa sudut defleksi *rudder* (δ). Persamaan untuk diagram blok pada gambar 2.2 dapat dilihat pada persamaan 2.25.

$$\delta = \frac{K}{\sigma s + 1} \quad (2.25)$$

2.4 Model Gangguan Kapal

Berikut adalah pemodelan dari fungsi transfer gelombang berdasarkan pendekatan dari persamaan Saelid Janssen dan Balchen. Persamaan model linier gelombang dengan menambahkan pengaruh damping pada dinamika posisi kapal agar diperoleh spektrum kapal yang lebih baik. Persamaan dapat ditulis. (Fossen T. I., 1994)

$$h(s) = \frac{Kws}{s^2 + 2\xi\omega_0s + \omega_0^2} \quad (2.26)$$

Dimana koefisien *gain* konstanta dapat ditulis.

$$K\omega = 2\xi\sigma_m \quad (2.27)$$

σ_ω menyatakan nilai konstan dan intensitas gelombang, nilainya sebesar 3.16. ξ adalah koefisien rasio peredam nilainya sebesar 0.1. Dan ω_0 adalah frekuensi gelombang yang didapatkan dari persamaan 2.28.

$$\omega_0 = 0.4 \sqrt{\frac{g}{H_3}} \quad (2.28)$$

g merupakan gaya gravitasi yang bernilai 9.8. H^3 adalah kecepatan angin yang dikonversi dari knot menjadi m/s.

2.5 Karakteristik Kondisi Laut

Sea state adalah kondisi gangguan laut ditandai dengan variasi ketinggian gelombang laut yang ditimbulkan oleh adanya kecepatan angin yang berubah-ubah. Karakteristik kondisi laut atau *Sea State* mengacu pada kondisi keseluruhan permukaan samudera atau laut lepas yang dihasilkan oleh efek gabungan dari

gelombang laut, angin dan arus laut. Dalam hal ini dijelaskan seberapa kasar permukaan air berdasarkan ketinggian gelombangnya. Tabel 2.2 di bawah merupakan kode serta karakteristik *Sea State* berdasarkan ketinggian gelombang.

Tabel 2. 2 Kode *Sea State* Berdasarkan Ketinggian Gelombang Laut dan Karakteristiknya (Fossen T. I., 1994)

Code	Wave Height (meters)	Characteristics
0	0	Calm (glassy)
1	0 to 0.1	Calm (rippled)
2	0.1 to 0.5	Smooth (Wavelets)
3	0.5 to 1.25	Slight
4	1.25 to 2.5	Moderate
5	2.5 to 4	Rough
6	4 to 6	Very rough
7	6 to 9	High
8	9 to 14	Very High
9	Over 14	Phenomenal

Berdasarkan ketinggian gelombang laut pada Laut Jawa tergolong pada karakteristik *rough*. Karena ketinggian gelombang yang terjadi di Laut Jawa antara 0-3 meter. Ketinggian gelombang yang berubah-ubah dengan rentang tersebut memberikan dampak terhadap penggunaan bahan bakar pada kapal *container* yang sedang melakukan operasi pelayaran. Semakin tinggi gelombang laut yang terjadi, maka semakin besar jumlah penggunaan bahan bakar yang dibutuhkan oleh kapal. Dan begitu pula sebaliknya. Sehingga dapat diketahui bahwa tinggi gelombang laut berbanding lurus terhadap jumlah konsumsi bahan bakar kapal.

2.6 Energi yang Dibutuhkan Untuk Pelayaran Kapal

Kapal *Container* Tanto Fajar 3 memiliki lintasan pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Dalam setiap lintasan kapal memiliki kebutuhan penggunaan energi yang berbeda-beda. Penggunaan bahan bakar yang digunakan bergantung pada kondisi perairan Laut Jawa yang dilintasi oleh kapal *container*. Terdapat 2 kondisi yang terjadi di perairan Laut Jawa yaitu tanpa adanya

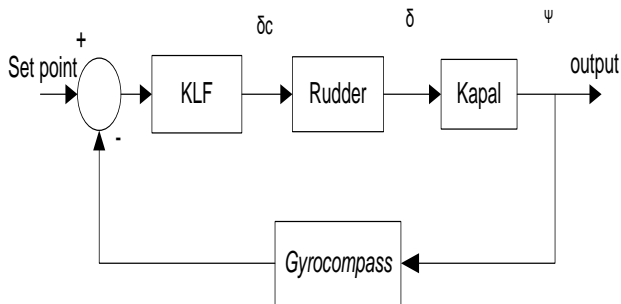
gangguan dan dengan adanya gangguan ketika melakukan operasi pelayaran. Pelayaran tanpa gangguan mengakibatkan penggunaan energi yang relatif normal. Sedangkan ketika pelayaran dilakukan saat perairan Laut Jawa mengalami gangguan (gelombang air laut) maka penggunaan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan oleh kapal relatif lebih besar.

Bahan bakar yang digunakan oleh Kapal Container Tanto Fajar 3 adalah MFO (*Marine Fuel Oil*). MFO merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari jenis residu yang berwarna hitam. Bahan bakar jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi. Selain itu, penggunaan bahan bakar pada kapal selama melakukan operasi pelayaran harus memenuhi batasan sifat-sifat MFO. Baik sifat fisika maupun sifat kimia yang harus dipenuhi dalam penggunaannya. Sifat-sifat tersebut meliputi sifat kestabilan, kekentalan, korosifitas, kebersihan, dan keselamatan. Sehingga selama batasan sifat bahan bakar MFO terpenuhi maka akan memberikan pengaruh aman, tidak membahayakan manusia, tidak merusak mesin, efisien dalam penggunaannya, serta tidak menimbulkan pencemaran pada lingkungan. Kondisi bahan bakar yang berkualitas memberikan pengaruh pula pada jumlah penggunaan bahan bakar selama melakukan operasi pelayaran di Laut Jawa.

Energi yang dibutuhkan untuk melakukan operasi pelayaran Kapal *Container* Tanto Fajar 3 dengan rute Surabaya menuju Banjarmasin memiliki jarak tempuh yang berbeda. Jarak tempuh yang berbeda diakibatkan oleh ketinggian gelombang laut ketika kapal melintasi perairan Laut Jawa. Sehingga jumlah penggunaan bahan bakar pun berbeda-beda. Data energi yang digunakan Kapal *Container* Tanto Fajar 3 rute Surabaya-Banjarmasin dengan jarak tempuh yang berbeda dan jadwal pelayaran yang berbeda pula dapat dilihat pada Tabel 3.5.

2.7 Sistem Kendali Fuzzy

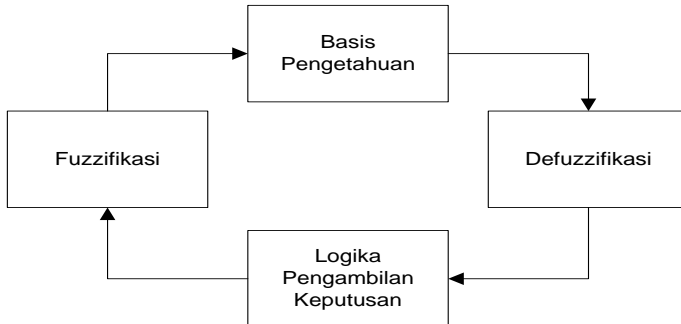
Perancangan kendali trayektori pada kapal *container* berbasis kendali logika *fuzzy* memiliki diagram blok sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Blok Diagram Sistem Pengendalian *Maneuvering* Kapal (Fossen T. I., 1996)

Diagram blok pada gambar di atas menjelaskan proses pengendalian yang dilalui kapal untuk menempuh rute pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Pengendalian *maneuvering* kapal menggunakan kendali logika *fuzzy*.

Logika *fuzzy* adalah suatu logika yang memungkinkan nilai keanggotaannya diantara 0 dan 1. Logika *Fuzzy* adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Logika *fuzzy* menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan logika *fuzzy*. Pada teori himpunan *fuzzy*, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat kebebasan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* banyak diterapkan pada sistem pengendalian maupun sistem pengambilan keputusan (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Struktur Logika *Fuzzy* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 4 Struktur Dasar Logika Fuzzy (Arifin S. , 2011)

Fungsi bagian pada gambar 2.6 di atas adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke dalam himpunan *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi
2. Basis Pengetahuan berisi data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah masukan dan keluaran serta penyusunnya dalam perangkat aturan.
3. Logika Pengambil Keputusan merupakan inti dari Logika *Fuzzy* yang mempunyai kemampuan seperti seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi atur *fuzzy* disimpulkan dengan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme inferensi *fuzzy*.
4. Defuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi.

Logika *fuzzy* Takagi dan Sugeno merupakan logika *fuzzy* dimana masukannya berupa linguistik dan keluarannya berupa numerik.. Kaidah *fuzzy* dari tipe ini dinyatakan dalam bentuk:

$$L^{(l)}: \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^l, \\ \text{THEN } Y^l = c_0^l + c_1^l x_1 + c_n^l x_n$$

dimana F_1^l adalah set *fuzzy*, c_1 adalah parameter berharga riil, y^l keluaran sistem oleh kaidah $L^{(l)}$ dimana $l = 1, 2, \dots$ Dimana M adalah

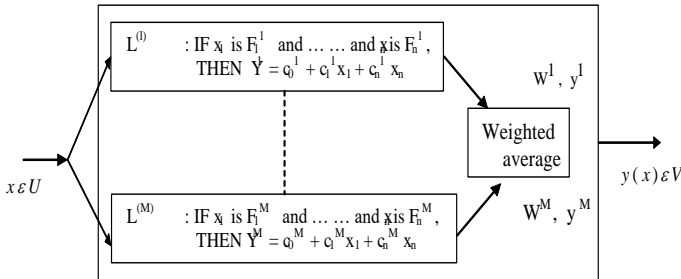
jumlah kaidah *fuzzy*. Sehingga apabila $l = 1$ bermakna kondisi tersebut merupakan *rule* ke 1. Dari kaidah tersebut di atas dapat dilihat bahwa bagian **IF** berupa set *fuzzy*, sedangkan pada bagian **THEN** adalah bernilai *crisp*, berupa kombinasi linier dari variable masukan. Masukan vector berharga riil $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$, dan keluarannya adalah $y(\underline{x})$ yang bernilai sesuai dengan *weighted average* y^l sebagai berikut:

$$y(\underline{x}) = \frac{\sum_{l=1}^M w^l y^l}{\sum_{l=1}^M w^l} \quad (2.29)$$

Sedangkan rumus *weighting* w^l dirumuskan seperti persamaan 2.30.

$$w^l = \prod_{i=1}^M \mu_{F^i}(x_i) \quad (2.30)$$

Struktur logika *fuzzy* Takagi-Sugeno ditunjukkan pada gambar 2.5.



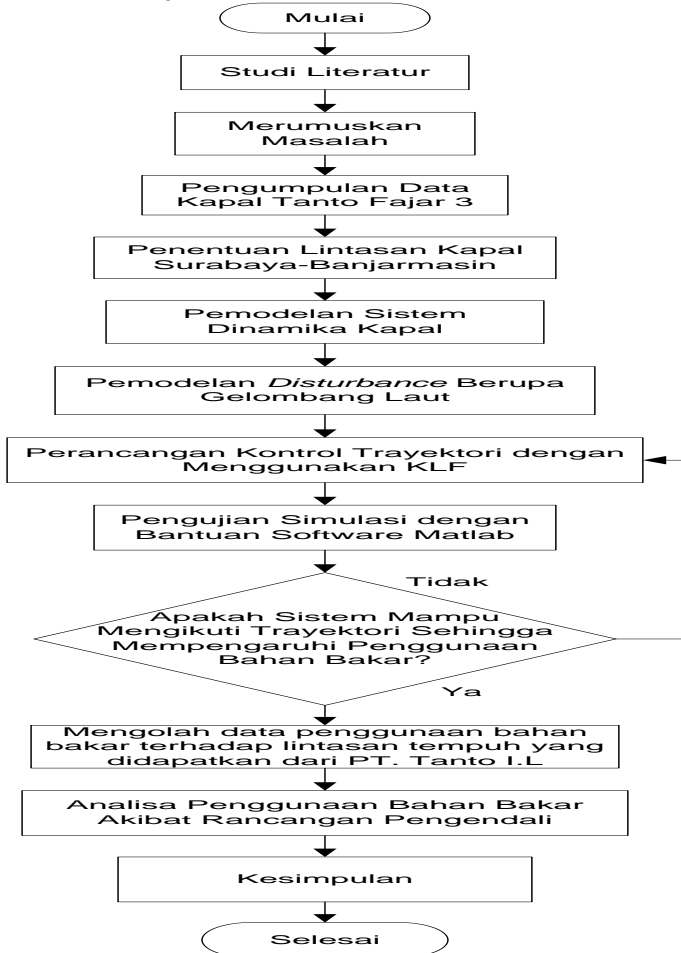
Gambar 2.5 Struktur logika *fuzzy* Takagi-Sugeno (Zadeh, 1965)

Pada Tugas Akhir ini, metode *fuzzy* yang digunakan adalah metode Takagi-Sugeno. Berdasarkan penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa metode KLF ini didasarkan pada fungsi dan kegunaan dari kendalier yang memiliki karakteristik dengan respon lebih cepat. Selain itu, penggunaan KLF Takagi-Sugeno sesuai untuk kendali yang berbasis peralatan kemudi. (Zadeh, 1965)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang telah dilakukan meliputi pemahaman tentang hidrodinamika kapal, spesifikasi kapal, kondisi perairan Laut Jawa khususnya terhadap kondisi ketinggian gelombang laut, sistem kendali *fuzzy* dengan metode Takagi-Sugeno, simulasi trayektori dengan menggunakan bantuan *softawre* matlab 2014a. Beberapa sumber diambil dari buku, jurnal, dan penelusuran dari penelitian-penelitian yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Selain itu, juga dilakukan *survey* lapangan untuk mempelajari dan mengenal lebih jauh mengenai Kapal *Container* Tanto Fajar 3 di Pelabuhan Tanjung Perak.

3.2 Pengumpulan Data Kapal Tanto Fajar 3

Data spesifikasi Kapal *Container* Tanto Fajar 3 digunakan untuk memperoleh koefisien hidrodinamika kapal.

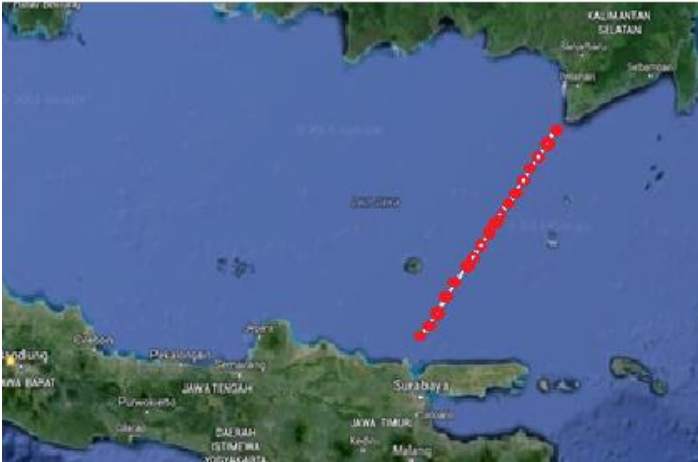
Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Kapal *Container* Tanto Fajar 3

Besaran	Nilai
Lpp (panjang, m)	90,22
U (kecepatan, m/s)	12
B (lebar, m)	17,3
T (tinggi, m)	7
C _B (koefisien blok)	0,73
XG	3,5
A _s (<i>rudder area</i> , m ²)	4,2
m (<i>displacement</i> , ton)	7167
R (jari-jari, m)	24,3

3.3 Trayektori Pelayaran Kapal

Rute jalur pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin memiliki jarak 360 km. Buoy MPMT Surabaya terletak pada garis bujur 06°. 37'. 30'' dan pada garis lintang 112°. 49'. 30''. Sedangkan Buoy MPMT Banjarmasin terletak pada garis bujur

03°. 39'. 30'' dan pada garis lintang 114°. 26'. 50''. (buoyweather) Berdasarkan penelitian sebelumnya jalur pelayaran Surabaya-Banjarmasin tersebut dibagi menjadi 18 titik yang didapatkan dari Peta Pelayaran Nomor 66 milik Kantor Kesyahbandaran Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.



Gambar 3. 2 Peta Pelayaran Surabaya-Banjarmasin

3.3.1 Penentuan Lintasan Kapal dari Surabaya-Banjarmasin

Koordinat pelayaran kapal dibagi menjadi 18 titik. Data ini didapatkan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan di tahun 2016 (Sari, 2016). Kemudian dilakukan pengolahan koordinat yang titik acuannya adalah titik 0° di Buoy Karang Jamuang Tanjung Perak Surabaya. Berikut adalah koordinat pelayaran kapal yaitu garis bujur dan lintang yang telah dikonversi dalam satuan meter. Pengolahan data koordinat secara lengkap dijelaskan pada bagian lampiran.

Tabel 3. 2 Koordinat Pelayaran Surabaya-Banjarmasin

No.	Nama Buoy	Koordinat	
		X (meter)	Y (meter)
1	Buoy Karang Jamuang	0	0
2	Titik 1	20000	10227,9
3	Titik 2	30000	20227,9
4	Titik 3	59706	40227,9
5	Titik 4	69706	60227,9
6	Titik 5	79706	80228,4
7	Titik 6	89706	100226,9
8	Titik 7	99706	118187,9
9	Titik 8	109706	148196,9
10	Titik 9	119707	168196,9
11	Titik 10	119708	188206,9
12	Titik 11	121710	207251,8
13	Titik 12	131712	227251,8
14	Titik 13	135713	245165
15	Titik 14	153194	265165
16	Titik 15	163194	285165
17	Titik 16	173194	310195,3
18	Buoy MPMT Banjarmasin	179899	330195,3

3.4 Pemodelan Sistem Dinamika Kapal *Container*

Model sistem dinamika Kapal *Container* Tanto Fajar 3 didapatkan dari data spesifikasi kapal yang telah diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan pendekatan matematis Nomoto orde II (1957). Parameter yang telah diketahui di-*substitusi*-kan ke dalam persamaan yang telah dijelaskan pada Bab 2 yaitu persamaan 2.14 hingga 2.21 untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien hidrodinamika kapal *Container* Tanto

Fajar 3. Berikut adalah nilai-nilai koefisien hidrodinamika kapal yang didapatkan dalam bentuk non dimensional.

$$-Y'_{\dot{v}} = 0,02082 \qquad -Y'_r = -0,00521$$

$$-Y'_{\dot{r}} = 0,00204 \qquad -N'_v = 0,01297$$

$$-N'_{\dot{r}} = 0,00095 \qquad -N'_{\dot{v}} = 0,00207$$

$$-Y'_v = 0,00526 \qquad -N'_r = 0,00452$$

Hasil perhitungan untuk gaya dan momen yang dinyatakan pada persamaan 2.22 dan 2.23 akibat *rudder* adalah sebagai berikut.

$$Y_{\delta} = 5,29634$$

$$N_{\delta} = -2,64817$$

Dari nilai koefisien hidrodinamika yang diperoleh di dapatkan nilai komponen-komponen pada matriks (non dimensional).

$$M' = \begin{bmatrix} 0,021 & 0,002 \\ 0,002 & 0,0009 \end{bmatrix}$$

$$N' = \begin{bmatrix} 0,0052 & -0,0049 \\ 0,0129 & 0,0045 \end{bmatrix}$$

$$b' = \begin{bmatrix} 5,29634 \\ -2,64817 \end{bmatrix}$$

Nilai komponen-komponen pada matriks di atas masih berbentuk non dimensional. Maka matriks harus dirubah ke dalam bentuk dimensional untuk memperoleh model dinamika kapal. Agar berubah menjadi matriks dimensional komponen-komponen tersebut dibagi dengan *prime system* yang sesuai dengan setiap komponen. Berikut nilai matriks M dan N yang didapatkan.

$$M = \begin{bmatrix} 0,0498 & 0,4395 \\ 0,0049 & 0,2088 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 0,0008 & -0,0726 \\ 0,0021 & 0,0661 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 5,29634 \\ -2,64817 \end{bmatrix}$$

Dimana :

- $M' = M$ non dimensional
- $N' = N$ non dimensional
- $b' = b$ non dimensional
- M = matriks inersia
- N = matriks *coriolis* dan redaman
- b = vektor dari *rudder*

Parameter model kapal sesuai dengan pendekatan Nomoto yang dinyatakan dalam persamaan 2.7 dan 2.8 serta persamaan 2.10 dan 2.11 adalah $T_1 T_2$, $T_1 + T_2$, K_R dan $K_R T_3$. Persamaan-persamaan tersebut membentuk gain kendali dengan parameter-parameter yang hasilnya dapat dilihat sebagai berikut.

$$T_1 T_2 = 39,45463$$

$$T_1 + T_2 = 13,93742$$

$$K_R = 0,12632$$

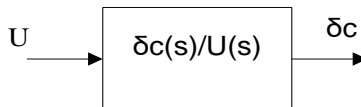
$$K_R T_3 = 1,492386$$

Fungsi transfer kapal berdasarkan pendekatan Nomoto ditunjukkan pada persamaan 3.1.

$$\frac{\Psi(s)}{\delta(s)} = \frac{1,492386s + 0,12632}{39,45463s^3 + 13,93742s^2 + s} \quad (3.1)$$

3.4.1 Pemodelan aktuator

Rudder berfungsi sebagai aktuator pada sebuah kapal. *Rudder* merupakan kemudi kapal yang berfungsi untuk menentukan arah kapal sesuai dengan perintah kendaliler.



Gambar 3. 3 Diagram Blok *Rudder*

Persamaan fungsi transfer untuk *rudder* Van Amerongen dinyatakan dalam persamaan 3.2.

$$\frac{\delta}{U} = \frac{K}{\sigma s + 1} \quad (3.2)$$

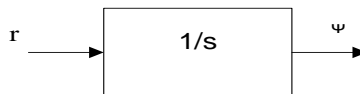
$$\delta = \frac{\Delta O / \Delta I}{\sigma s + 1}$$

$$\delta = \frac{0.00158}{0.05s + 1}$$

Dengan nilai K adalah penguat *rudder* sebagai nilai hasil dari $\Delta O / \Delta I$ dan σs adalah *time constant* (Fossen T. I., 1996). *Rudder* yang digunakan memiliki spesifikasi Vcc sebesar 380 Volt. Nilai ΔO sebesar 0,6 volt. Nilai dari hasil pembagian ΔO dan ΔI adalah sebesar 0.00158. Nilai *time constant* adalah sebesar 0.05.

3.4.2 Pemodelan Gyrocompass

Gyrocompass atau yang biasa disebut *gyroscope* adalah salah satu *instrument* yang sangat diperlukan di hampir semua kapal karena kemampuannya dalam mendeteksi arah utara sejati dan bukan arah utara magnetik. Pemodelan dari *gyrocompass* pada perancangan sistem kendali ini adalah seperti berikut.

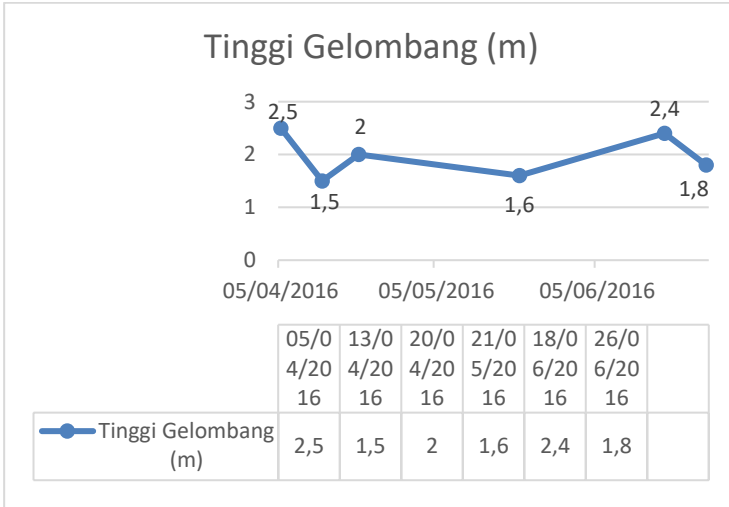


Gambar 3. 4 Diagram Blok *Gyrocompass*

3.4.3 Pemodelan Gangguan Berupa Gelombang Laut

Perairan Laut Jawa lintasan Surabaya-Banjarmasin terdapat gangguan yaitu gelombang laut yang memiliki ketinggian berubah-ubah setiap harinya. Gambar 3.5 adalah

grafik data perubahan ketinggian gelombang laut sesuai dengan jadwal pelayaran Kapal *Container* Tanto Fajar 3. Data ini diambil dari laman resmi Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok. (Maritim, 2016)



Gambar 3. 5 Grafik Data Ketinggian Gelombang Perairan Laut Jawa Berdasarkan Jadwal Pelayaran Kapal *Container* Tanto Fajar 3

Grafik pada gambar 3.5 menunjukkan bahwa gelombang di perairan Laut Jawa selama kapal melakukan operasi pelayaran mengalami ketinggian maksimal sebesar 2,5 meter pada tanggal 5 April 2016. Dan ketinggian gelombang terkecil adalah sebesar 1,5 meter pada tanggal 13 April 2016.

Gangguan gelombang pada rute Surabaya-Banjarmasin dimodelkan dalam bentuk fungsi transfer orde-2 seperti pada persamaan 2.26.

Ketinggian gelombang mencapai 1,5 meter :

$$h(s) = \frac{0,3728s}{s^2 + 0,118s + 0,3481} \quad (3.3)$$

Ketinggian gelombang mencapai 2,5 meter :

$$h(s) = \frac{0,3349s}{s^2 + 0,106s + 0,2809} \quad (3.4)$$

3.5 Analisa Penggunaan Bahan Bakar Akibat Rancangan Pengendali

Lintasan kapal didapatkan dengan melakukan perhitungan variabel yang berupa posisi, kecepatan, dan percepatan kapal yang digunakan sebagai masukan sistem kendali. Persamaan perhitungan *heading* tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.5.

$$\Psi_d = \arctan \frac{Y_d - Y_a}{X_d - X_a} \quad (3.5)$$

Analisa penggunaan bahan bakar pada Kapal *Container* Tanto Fajar 3 didapatkan dengan Ψ_d diperoleh dari perhitungan *arctan* antara sudut posisi *desired* dikurangi posisi aktual. Y_d dan X_d merupakan sudut posisi *desired* dari koordinat Y dan X. Sedangkan Y_a dan X_a merupakan sudut posisi aktual dari koordinat Y dan X. Persamaan untuk menghitung sudut posisi aktual (X_a , Y_a) dapat dilihat pada persamaan 3.6 dan persamaan 3.7.

$$X_a = V (\cos \Psi_a) t \quad (3.6)$$

$$Y_a = V (\sin \Psi_a) t \quad (3.7)$$

Menggunakan persamaan 3.6 dan 3.7 didapatkan nilai x dan y, dimana nilai Ψ diketahui dari hasil pemodelan dinamika kapal *container*, nilai V dan t telah diketahui dari data yang didapatkan dari PT. Pelayaran Tanto Intim Line Surabaya. Sehingga akan didapatkan berapa besar pengurangan penggunaan bahan bakar dengan persamaan.

$$l = \sqrt{x^2 - y^2} \quad (3.8)$$

Setelah didapatkan nilai l , maka akan didapatkan nilai pengurangan lintasan. Hasil tersebut akan disimulasikan menggunakan bantuan *software* Matlab.

3.5.1 Hubungan Antara Kebutuhan Jumlah Energi terhadap Lintasan Pelayaran

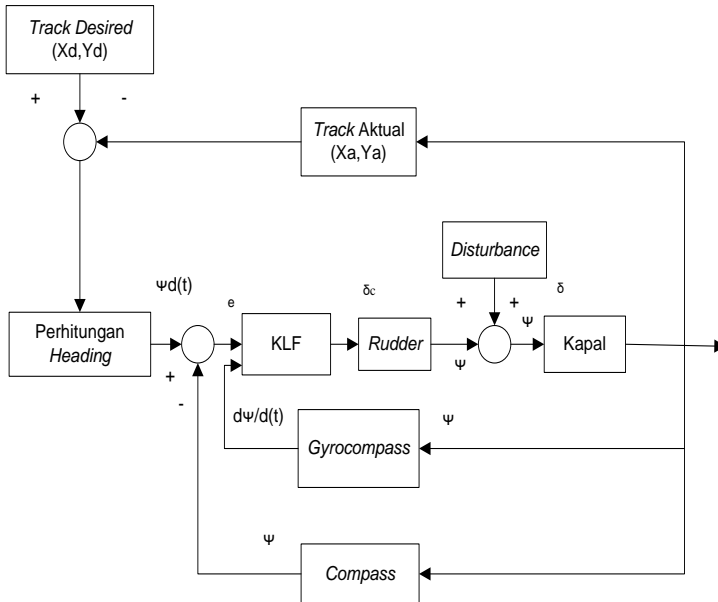
Kapal *Container* Tanto Fajar 3 membutuhkan bahan bakar selama melakukan pelayaran Surabaya-Bajarmasin. Kapal *container* ini memiliki tangki yang kapasitas tampung bahan bakarnya sebesar 316121 liter. Dan jumlah berat yang ditampung oleh kapal sebesar 4705 ton. Kebutuhan jumlah penggunaan bahan bakar selama melakukan operasi didapatkan data penggunaan sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Penggunaan Bahan Bakar pada Kapal *Container* Tanto Fajar 3 terhadap Lintasan Surabaya-Banjarmasin

Posisi	Tanggal	Panjang Lintasan Tempuh (km)	Konsumsi Bahan Bakar (t)
Surabaya-Banjarmasin	5-04-2016	414,85	10443
Surabaya-Banjarmasin	13-04-2016	414,85	10018
Surabaya-Banjarmasin	20-04-2016	414,85	9204
Surabaya-Banjarmasin	21-05-2016	409,29	8496
Surabaya-Banjarmasin	18-06-2016	407,44	9165
Surabaya-Banjarmasin	26-06-2016	413	8844

3.6 Perancangan Kendali Trayektori dengan Menggunakan Kendali Logika *Fuzzy*

Perancangan kendali *trajectory* dengan diagram blok pengendalian pada Kapal *Container* Tanto Fajar 3.



Gambar 3. 6 Diagram Blok Kendali *Trajectory* Kapal *Container*

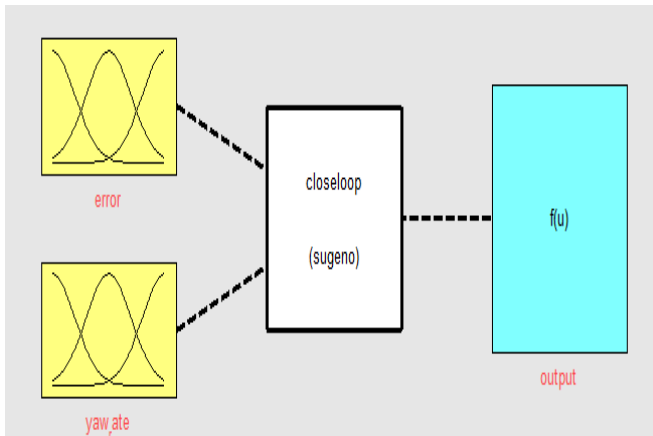
Gambar 3.6 menunjukkan bahwa *set point* sebagai masukan dari pengendalian tersebut untuk mengatur pergerakan *heading* kapal. *Rule Base* yang telah dibuat disesuaikan untuk menggerakkan aktuator berupa *rudder*. Dan *disturbance* dianggap sebagai noise yang diberikan pada perancangan pengendalian berupa gelombang laut. Sedangkan sensor GPS dan kompas menentukan posisi dan arah kapal.

3.6.1 Kendali Logika *Fuzzy* pada *Rudder*

Penelitian ini menggunakan Kendali Logika *Fuzzy* (KLF) sebagai sistem kendali. Sistem kendali tersebut ditujukan untuk mengatur pergerakan *rudder* pada kapal.

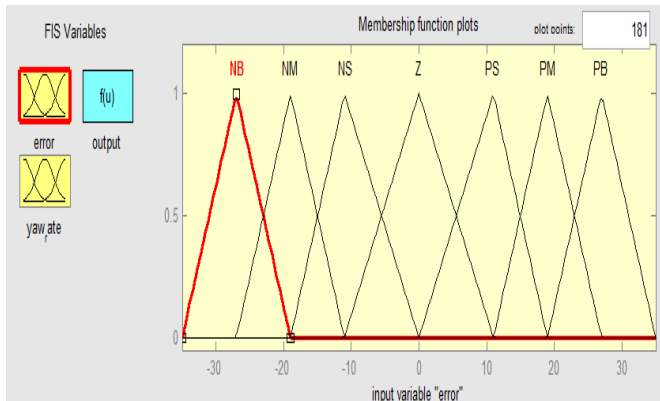
a) Fuzzifikasi

Proses Fuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke dalam himpunan *fuzzy*. Masukan untuk kendali *rudder* adalah berupa nilai *error yaw* dan *yaw rate*. Sedangkan keluarannya adalah berupa *command rudder*. Logika *Fuzzy* yang dipilih adalah metode Takagi-Sugeno karena untuk menghasilkan keluaran berupa nilai pasti pada *command rudder*. Berikut adalah perancangan kendali *rudder* dengan menggunakan Kendali Logika *Fuzzy*.



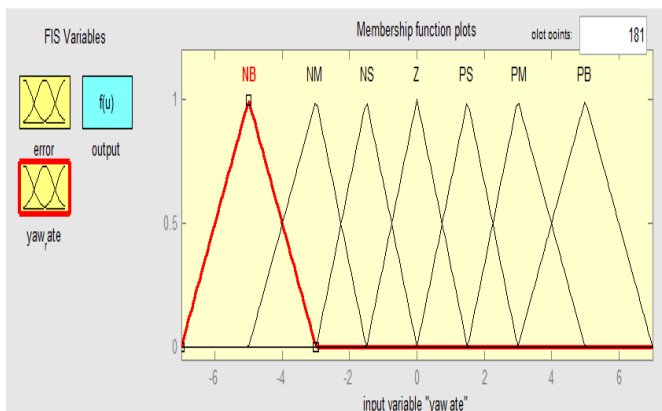
Gambar 3. 7 Perancangan Kendali Logika *Fuzzy* Pada *Rudder*

Nilai masukan dari *error yaw* memiliki 7 tingkatan yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), *Positive Medium* (PM) dan *Positive Big* (PB) dengan rentang kerja fungsi keanggotaan -35 sampai 35. Berikut adalah fungsi keanggotaan *error yaw* yang berbentuk segitiga untuk perancangan kendali pada *rudder*.



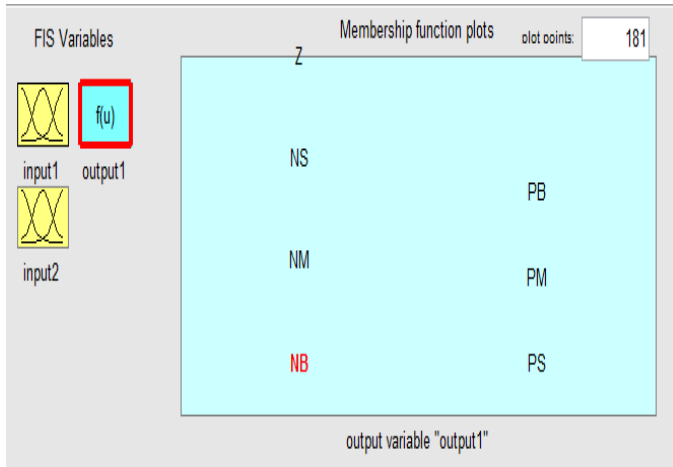
Gambar 3. 8 *Membership Function Error Yaw*

Nilai masukan dari *yaw rate* memiliki 7 tingkatan yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), *Positive Medium* (PM) dan *Positive Big* (PB) dengan rentang kerja fungsi keanggotaan -7 sampai 7. Fungsi keanggotaan dari *yaw rate* adalah seperti berikut.



Gambar 3. 9 *Membership Function Yaw Rate*

Nilai keluaran dari KLF memiliki 7 tingkatan yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), *Positive Medium* (PM) dan *Positive Big* (PB) dengan rentang nilai antara 0 volt sampai dengan 12 volt. (Handito R. , 2012)



Gambar 3. 10 *Membership Function Ouput*

Jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 7, hal ini merujuk pada penelitian sebelumnya. Karena fuzzy yang digunakan adalah fuzzy Sugeno, maka nilai yang masuk pada tiap fungsi keanggotaan adalah nilai yang tegas (tidak samar). Untuk istilah pada nama masing-masing fungsi keanggotaan juga melihat berdasarkan penelitian sebelumnya.

b) Rule Base

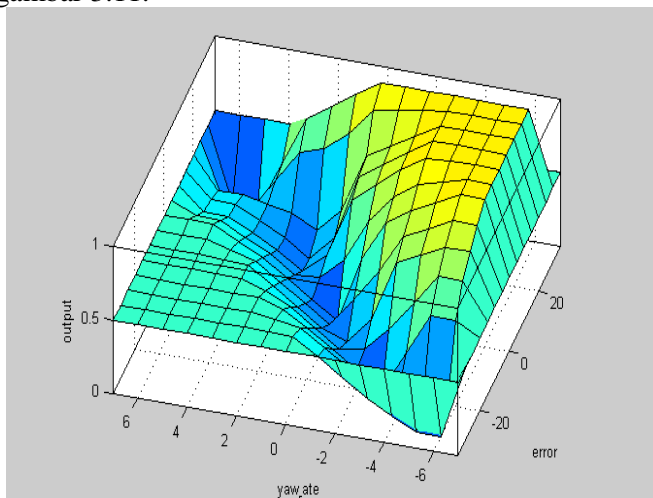
Rule base pada kendali logika fuzzy ini disesuaikan pada *rudder* yang bekerja sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Karena terdapat 2 masukan yang masing-

masing berjumlah 7 maka *rule base* terdapat 49. Berikut adalah susunan *rule base* nya. (Vinaya, 2013)

Tabel 3. 4 *Rule Base* Pengendalian KLF pada *Rudder*

r / e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB
NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
NS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
PM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
PB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z

Bentuk *Surface* dari *rule base* diatas dapat dilihat pada gambar 3.11.



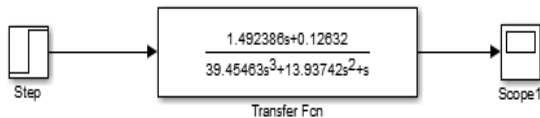
Gambar 3. 11 *Surface viewer rule base* KLF pada *rudder*

3.7 Simulasi Pengujian Sistem Kendali dengan Menggunakan Bantuan *Software* Matlab

Pada tahapan ini dilakukan simulasi hasil modifikasi yang telah dirancang dengan tujuan untuk mengetahui sistem sudah sesuai dengan kriteria atau belum. Pengujian dilakukan adalah uji *root locus* yang akan jelaskan pada lampiran , *open loop*, *close loop*, *close loop* tanpa gangguan dan *close loop* dengan gangguan. Pengujian dilakukan dengan simulasi pada *software* MATLAB *simulink* R2014a.

3.7.1 Uji *Open Loop*

Pertama yaitu untuk mengetahui sistem yang dirancang dalam penelitian ini apakah sudah bekerja dengan baik, maka dilakukan uji turning dengan diberikan masukan berupa konstanta sebesar 20° dan 30° yang merupakan standar dari pengujian manuver kapal IMO (*International Maritime Organization*).



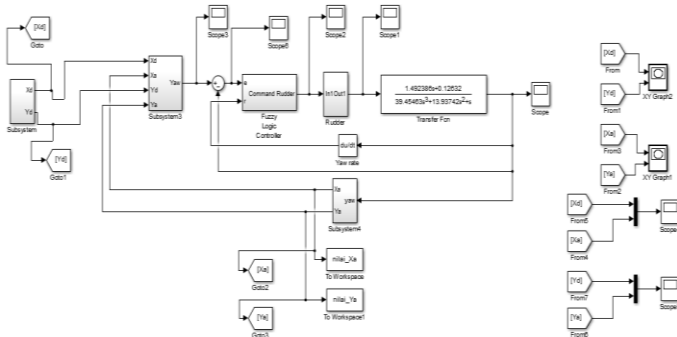
Gambar 3. 12 Diagram *Simulink* Uji *Open Loop*

Diagram blok di atas terdiri dari masukan sinyal step, *plant* kapal serta keluaran (*scope*).

3.7.2 Uji *Close Loop*

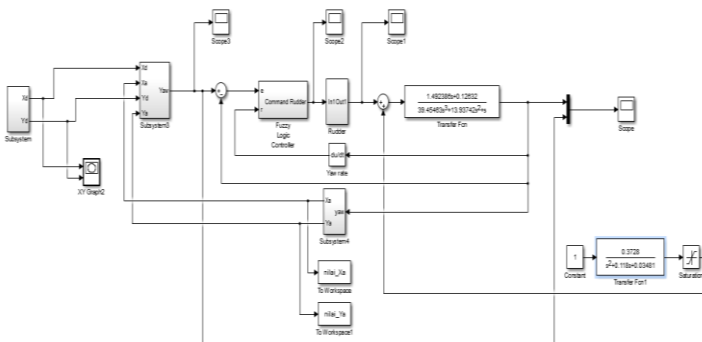
Sistem yang dirancang dalam penelitian ini dilakukan uji close loop terlebih dahulu berupa *simulink* untuk mengetahui sudah bekerja dengan baik pada saat diberikan masukan berupa konstanta sebesar 20° dan 30° yang merupakan standar dari pengujian manuver kapal IMO (*International Maritime Organization*), Kemudian masuk ke dalam sistem kendali yang

menggunakan metode *Fuzzy Takagi-Sugeno* dengan rangkaian *simulink* berupa *close loop* tanpa gangguan.



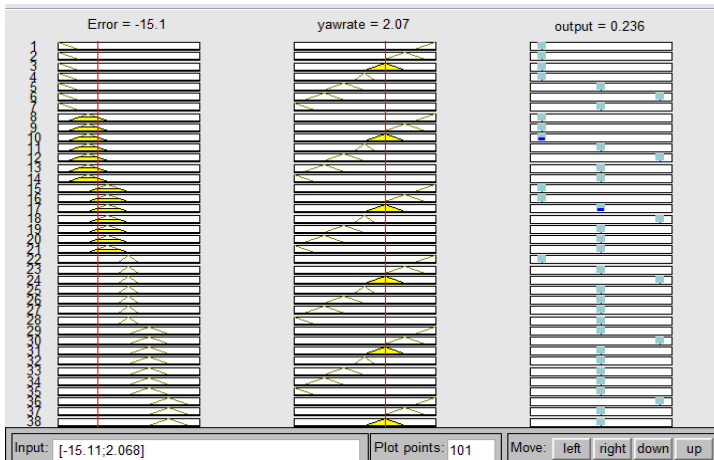
Gambar 3. 13 Diagram *Simulink* Uji *Close Loop* tanpa Gangguan

Berikut adalah rangkaian *simulink* berupa *close loop* dengan gangguan, masukan yang diberikan sama dengan *simulink close loop* tanpa gangguan. Pada rangkaian ini ditambahkan gangguan berupa noise yaitu gangguan gelombang laut.



Gambar 3. 14 Diagram *Simulink* Uji *Close Loop* dengan Gangguan

Setelah rangkaian *Simulink* dari uji *close loop* menggunakan *software* matlab, berikut adalah *rule viewer* dari *rule base* KLF *rudder* seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3. 6 *Rule viewer* Logika Fuzzy pada Kendali Rudder

Dari *rule viewer* gambar 3.16 dapat diketahui bahwa ketika masukan berupa *error yaw* bernilai -15,1 dan *yaw rate* bernilai 2,07, maka keluaran nya adalah sebesar 0,236. Nilai keluaran ini adalah suatu *command rudder* yang berupa sudut. Dari *rule viewer* yang ada dapat diketahui apakah sistem kendali logika fuzzy yang telah dirancang pada *rudder* sudah sesuai dengan desain program yang dibuat.

3.8 Penyusunan Laporan

Setelah selesai melakukan pengumpulan data, perhitungan, perancangan sistem kendali, dan analisa yang kemudian mendapatkan kesimpulan keseluruhan kegiatan penelitian ditulis ke dalam bentuk laporan akhir agar kegiatan selama penelitian dapat dipertanggungjawabkan dan berguna bagi peneliti selanjutnya.

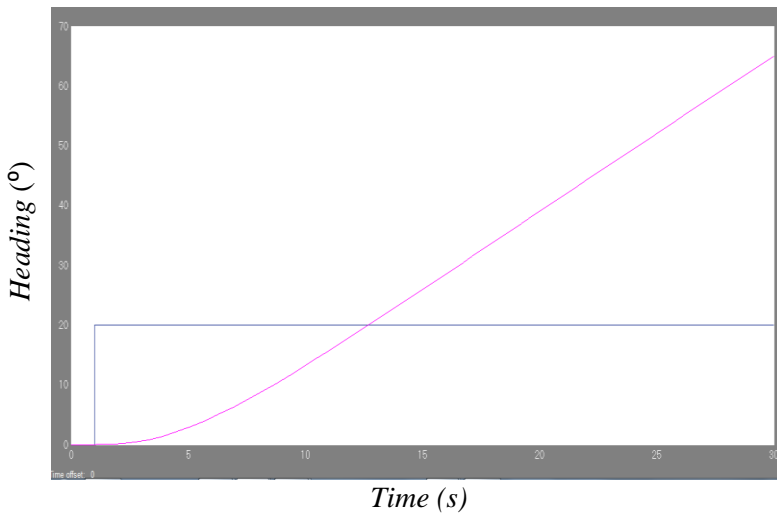
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas analisa dari hasil perancangan sistem kendali untuk memenuhi trayektori lintasan Kapal *Container* Tanto Fajar 3 rute Surabaya-Banjarmasin dengan menggunakan Kendali Logika *Fuzzy* yaitu tipe Takagi-Sugeno. Pengujian simulasi kendali trayektori ini menggunakan bantuan rangkaian *simulink* pada *Software* Matlab 2014a. Beberapa yang akan dianalisa dan dibahas adalah uji *root locus* yang hasilnya akan dijelaskan pada bagian lampiran buku penelitian, uji *open loop*, uji *close loop*, uji trayektori kapal dengan dua kondisi yaitu pelayaran kapal tanpa ada gangguan dan pelayaran kapal dengan adanya gangguan berupa gelombang laut, serta analisa penggunaan bahan bakar kapal selama melakukan operasi pelayaran Surabaya-Banjarmasin.

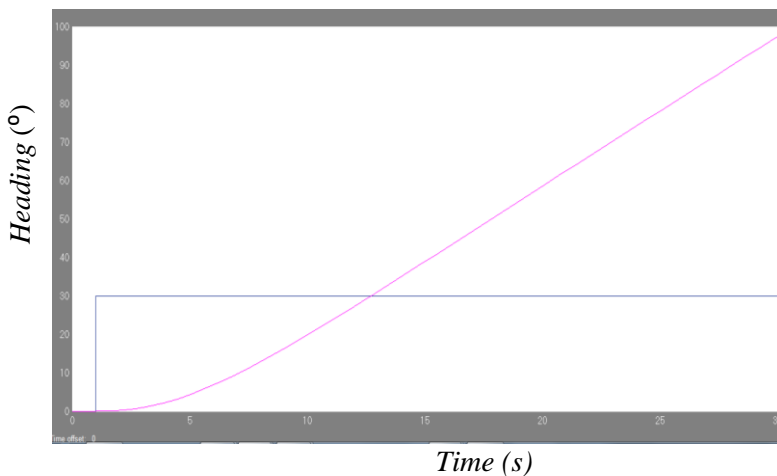
4.1 Analisa Uji *Open Loop*

Uji open loop dilakukan untuk mengetahui respon dari Kapal *Container* Tanto Fajar 3 apabila dikondisikan tanpa menggunakan kontroler. Pada uji *open loop* ini terdiri dari masukan sinyal step sebesar 20° dan 30°. Masukan sinyal step menuju ke sistem kapal kemudian akan diketahui respon sistem apabila diberikan masukan dengan nilai tersebut. Nilai sinyal *step* masukan 20° dan 30° sesuai dengan standar yang telah ditetapkan IMO (*International Maritime Organization*). Masing-masing respon sinyal uji *open loop* diberikan masukan yang berbeda. Uji *open loop* dengan masukan 20° didapatkan respon sinyal seperti pada gambar 4.1. dan uji *open loop* dengan masukan 30° didapatkan respon sinyal seperti pada gambar 4.2. Kedua gambar tersebut menyajikan grafik dari hasil simulasi uji *open loop* menggunakan bantuan matlab. Berikut uji *open loop* dari hasil uji simulasi tersebut.



Gambar 4. 1 Respon Sinyal Uji *Open Loop* masukan 20°

Uji *open loop* dengan masukan 30° didapatkan respon sinyal seperti pada gambar 4.2.

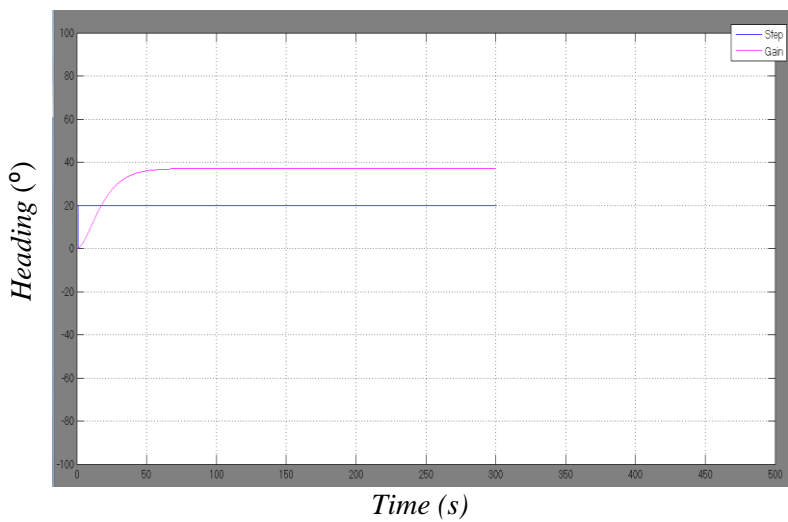


Gambar 4. 2 Respon Sinyal Uji *Open Loop* masukan 30°

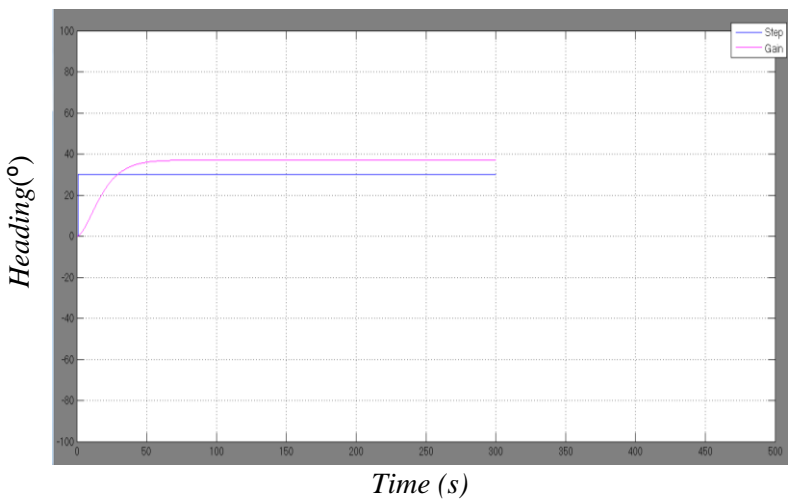
Pada uji *open loop* diberikan nilai masukan sinyal *step* sebesar 20° dan 30° yang merupakan nilai dari *set point* sudut *heading*. Pada masukan sinyal *step* sebesar 20° menunjukkan sistem dapat mencapai *set point* dalam waktu 12,723 detik dan saat masukan sebesar 30° sistem mencapai *setpoint* dalam waktu 12,724 detik. Kapal dapat dengan cepat mencapai *set point* yang ditentukan, namun respon sinyal tersebut terus mengalami kenaikan sampai waktu yang tak terhingga. Hal ini menunjukkan bahwa dengan tidak adanya kontroler pada sistem ini maka dapat disimpulkan sistem tidak stabil sehingga perlu dilakukan uji *close loop* dengan memberikan suatu kontroler agar sistem dapat stabil sesuai dengan nilai *heading set point* yang diberikan.

4.2 Analisa Uji Close Loop

Simulasi uji *close loop* ini masih memiliki fungsi yang sama seperti pengujian yang sebelumnya yaitu pada uji *open loop*. Dan menggunakan masukan sinyal *step* dengan nilai yang sama yaitu sebesar 20° dan 30° . Nilai masukan sinyal *step* tersebut merupakan nilai *set point* dari sudut *heading rudder*. Sehingga sudut *heading* yang diberikan telah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh IMO. Namun pada uji *close loop* ini setelah diberikan masukan sinyal *step* kemudian ditambahkan suatu kontroler *fuzzy* untuk mendapatkan sistem yang stabil sesuai dengan sudut *heading* yang diberikan. Setelah itu menuju ke aktuator (*rudder*) yang kemudian masuk ke sistem kapal. Dengan demikian akan didapatkan respon dari masukan (sudut *heading*) yang diberikan. Berikut adalah masing-masing respon sinyal yang didapatkan dari nilai masukan yang berbeda.



Gambar 4. 3 Respon Sinyal Uji *Close Loop* dengan masukan 20°

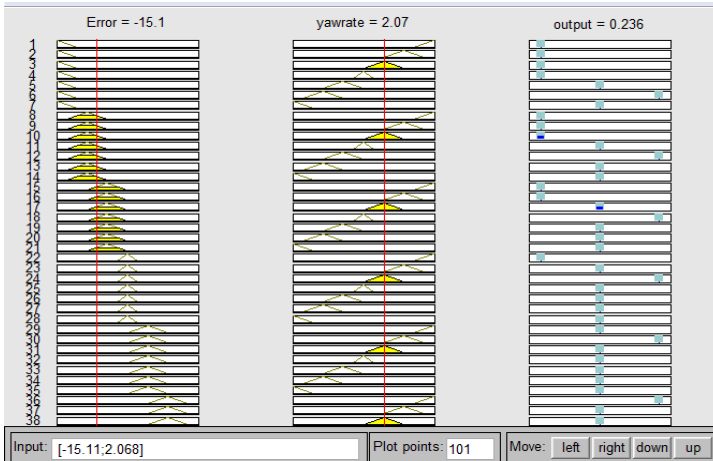


Gambar 4. 4 Respon Sinyal Uji *Close Loop* dengan masukan 30°

Simulasi uji *close loop* diberikan nilai masukan sinyal *step* (sudut *heading*) sebesar 20° dan 30° . Masukan sudut *heading* sebesar 20° menunjukkan respon menyentuh *set point* pada detik ke 17,668 dan masukan sudut *heading* sebesar 30° menunjukkan respon menyentuh nilai *set point* pada detik ke 29,337. Gambar respon sistem keduanya menunjukkan bahwa sistem sudah cukup stabil. Hal ini dapat disimpulkan karena respon yang didapatkan mampu mencapai *set point* dan bergerak stabil sejajar dengan nilai masukan sudut *heading rudder*. Karena sistem sudah stabil maka uji simulasi ini dapat dilanjutkan pada uji trayektori tanpa adanya gangguan berupa gelombang laut.

4.3 Analisa Hasil Uji *Tracking Close Loop* Tanpa Gangguan

Tahapan selanjutnya adalah simulasi uji *close loop* tanpa gangguan menggunakan kendali logika *fuzzy*. Uji simulasi ini digunakan untuk mengetahui kemampuan kontroler *fuzzy* dalam memposisikan kapal agar sampai ke tempat tujuan (MPMT Banjarmasin). Masukan yang digunakan pada KLF tersebut berupa nilai *error yaw* dan *yaw rate* dengan keluarannya adalah *command rudder*. Metode *Fuzzy* yang digunakan adalah metode Takagi-Sugeno untuk mendapatkan keluaran berupa nilai pasti pada *command rudder*. Setelah rangkaian *simulink* uji *close loop* tanpa gangguan (Gambar 3.14) dilakukan uji hasil menggunakan bantuan *software* matlab. Hasil *rule viewer* dari *rule base* KLF *rudder* yang telah dibuat (Tabel 3.6) menunjukkan hasil penampakan seperti Gambar 4.5. *Rule viewer* tersebut untuk mengetahui bahwa keluaran dari KLF sudah sesuai dengan *rule base* yang sudah ditetapkan.

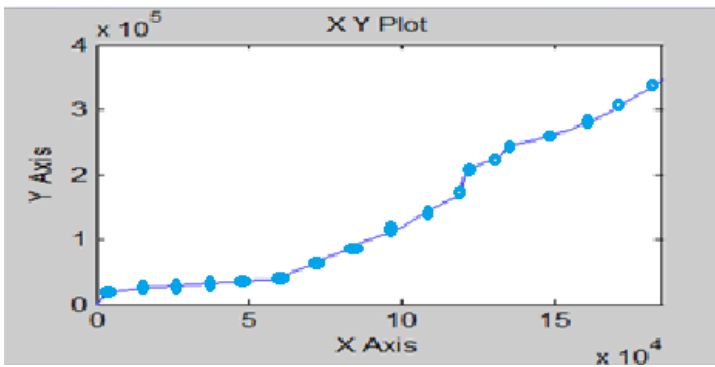


Gambar 4. 5 Rule viewer dari iterasi rule fuzzy pada sistem kendali rudder

Berdasarkan rule viewer diatas dapat diketahui bahwa KLF pada rudder sudah berjalan sesuai dengan rule base yang sudah ditetapkan. Hal ini dapat dilihat dari nilai error yaw sebesar -15,1 (NS) dan nilai yaw rate sebesar 2,07 (PS), maka keluarannya sebesar 0,236 (NM). Nilai keluaran pada command rudder tersebut sesuai dengan rule base fuzzy yang telah dibuat. Setelah rule viewer sudah sesuai dengan rule base fuzzy yang dibuat maka langkah selanjutnya adalah menentukan titik koordinat lintasan yang dilalui kapal container dari Surabaya menuju Banjarmasin.

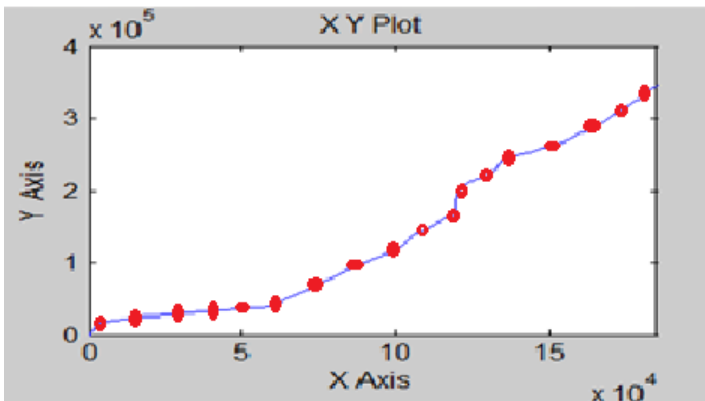
Data koordinat desired yang telah didapatkan kemudian dimasukkan kedalam workspace yang digunakan sebagai masukan pada simulink. Sehingga didapatkan data aktual jalur pelayaran kapal container melalui bantuan simulasi software matlab. Koordinat desired dan aktual dari jalur pelayaran Surabaya-Banjarmasin ditampilkan berupa grafik oleh software matlab dengan masing-masing pembagian menjadi 18 titik koordinat. Jika dilihat penampakan grafik dari keduanya tidak tampak perbedaan posisi titik koordinat lintasan yaitu

antara koordinat *desired* dan aktual. Setelah diperbesar dan dilakukan perhitungan beda lintasan maka dapat ditunjukkan bahwa ada beda lintasan antara koordinat *desired* dan aktual pada jalur pelayaran Kapal *Container Tanto Fajar 3* dari Suranaya menuju Banjarmasin. Gambar berikut adalah penampakan lintasan pada koordinat *desired*.



Gambar 4. 6 Grafik Koordinat *Desired*

Gambar di bawah ini adalah penampakan lintasan pada koordinat aktual.



Gambar 4. 7 Grafik Koordinat Aktual

Tabel 4. 1 Koordinat Lintasan Kapal Pada Pengujian *Close Loop* Tanpa Gangguan Dengan Kendali Logika *Fuzzy* Tipe Takagi-Sugeno

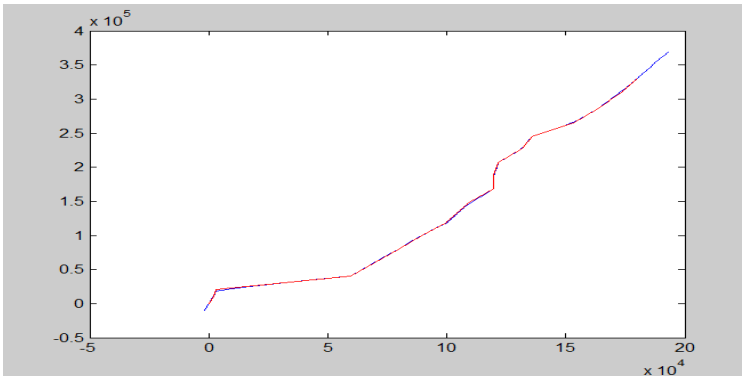
No.	Nama Buoy	Koordinat XY				Error
		Xd	Xa	Yd	Ya	
1.	Buoy Karang Jamuang	0	-1993,83	0	-10227,9	1,18
2.	Titik 1	2000	-1993,07	10227,9	-10224	1,18
3.	Titik 2	3000	-1973,96	20227,9	10126,3	1,18
4.	Titik 3	59706	-1496,23	40227,9	-7683,19	1,18
5.	Titik 4	69706	-312,71	60227,9	-1630,75	1,18
6.	Titik 5	79706	1287,29	80228,4	6551,568	1,18
7.	Titik 6	89706	2406,17	100226,9	14227,9	1,17
8.	Titik 7	99706	14347,37	118187,9	28157,38	1,18
9.	Titik 8	109706	59712,17	148196,9	71998,8	1,02
10.	Titik 9	119707	67712,17	168196,9	88014,29	4,65
11.	Titik 10	119708	75712,17	188206,9	104638,65	4,65
12.	Titik 11	121710	83712,17	207251,8	121621,85	4,75
13.	Titik 12	131712	91712,17	227251,8	138526,28	4,46
14.	Titik 13	135713	99712,17	245165	154631,49	4,25
15.	Titik 14	153194	107712,17	265165	178385,43	3,85
16.	Titik 15	163194	115712,77	285165	197617,04	0,94
17.	Titik 16	173194	119713,57	310195,3	213021,36	3,36
18.	MPMT Banjarmasin	179899	120915,37	330195,3	233397,09	3,2

Berdasarkan tabel di atas terdapat nilai (Xd,Yd) yang merupakan titik koordinat *desired* pelayaran kapal sesungguhnya yang telah dibagi menjadi 18 titik. Nilai (Xa,Ya) merupakan titik koordinat aktual pelayaran kapal setelah dilakukan simulasi trayektori kapal. Dimana X melambangkan garis lintang dan Y melambangkan garis bujur. Tabel 4.1 menjelaskan nilai *error* yang didapatkan dari simulasi rancangan pengendali pada *close loop* tanpa gangguan. Kondisi lintasan tanpa gangguan dengan ditambahkan pengendali *fuzzy*

pada sistem kapal menunjukkan bahwa pengendali yang diberikan mampu mempertahankan posisi kapal untuk melakukan pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Hal ini dibuktikan dengan hasil *error* yang bernilai kecil disetiap pembagian titik koordinat yang berjumlah 18 titik koordinat sepanjang lintasan. Nilai *error* terkecil pada lintasan adadah bernilai 0,94 m. Nilai *error* terkecil yang didapatkan pada simulasi *close loop* tanpa gangguan berada pada titik 15. Nilai *error* tertinggi ada pada titik 11 yaitu bernilai 4,75 m. Sedangkan pada titik-titik koordinat yang lain mengalami naik turun nilai *error* yang bernilai tidak lebih dari 5 m. Rata-rata *error* lintasan 2,47 meter. Hal ini menunjukkan bahwa *error* yang didapatkan pada simulasi ini bukan disebabkan oleh gangguan utama yaitu gelombang laut melainkan adalah karena *human error*. *Human error* yang dimaksud adalah kurang telitnya peneliti dalam melakukan simulasi dalam setiap langkah yang dikerjakan, serta kurang optimalnya kondisi *plant*. Hasil tabel di atas dapat digambarkan dengan bantuan simulasi yang ditampilkan berupa grafik lintasan kapal.

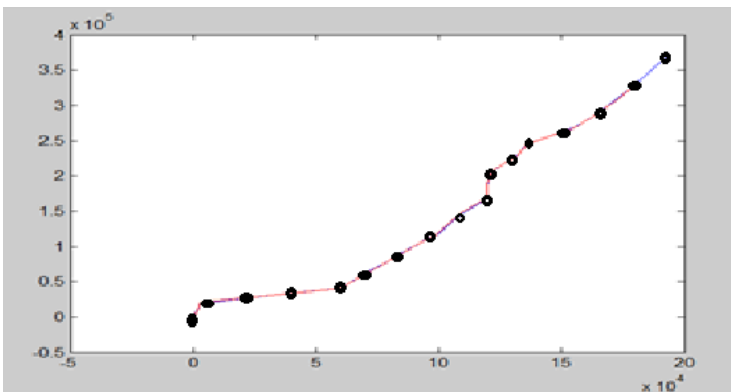
Gambar dari grafik lintasan kapal container Surabaya-Banjarmasin ditampilkan menjadi satu antara koordinat *desired* dan aktual maka akan tampak seperti pada Gambar 4.8. Seperti yang ditunjukkan pada gambar tersebut ada 2 warna yang masing-masing menunjukkan lintasan kapal. Warna biru menunjukkan lintasan awal (koordinat *desired*) dan warna merah menunjukkan lintasan aktual. Kedua lintasan tersebut tampak berhimpitan. Hal ini dikarenakan hasil nilai *error* lintasan yang relatif kecil. Sehingga untuk menampilkan posisi *error* lintasan antara koordinat *desired* dan aktual perlu dilakukan perbesaran gambar. Hasil perbesaran gambar yang menunjukkan adanya *error* lintasan akan ditampilkan pula dalam bentuk grafik. Grafik tersebut yang akan menunjukkan disetiap posisi kapal saat terjadi *error* lintasan sepanjang pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Berikut adalah gambar dari grafik lintasan Kapal *Container Tanto Fajar 3*

dengan lintasan Surabaya menuju Banjarmasin. Grafik disajikan dalam dua gambar yaitu tanpa menampilkan 18 pembagian titik koordinat agar memperjelas trayektori antara jarak *desired* dengan aktual. Gambar kedua akan disertai dengan 18 pembagian titik koordinat.



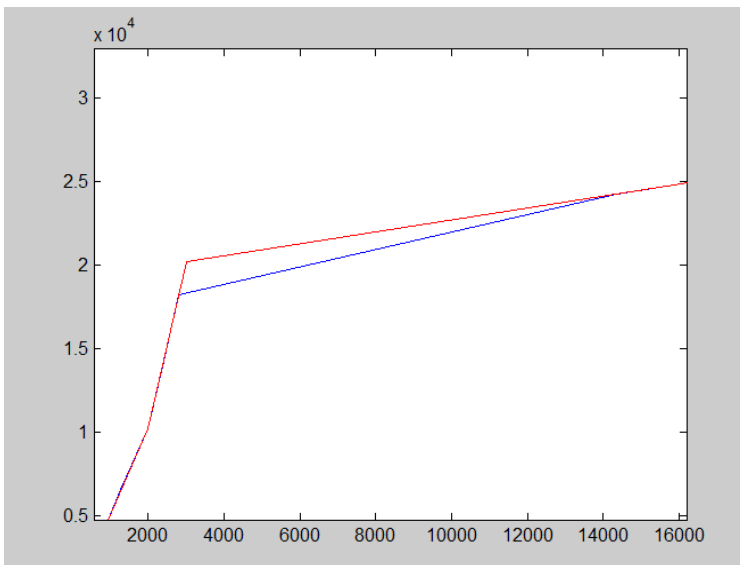
Gambar 4. 8 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin

Berikut adalah gambar dari grafik lintasan kapal yang disertai dengan pembagian 18 titik koordinat.



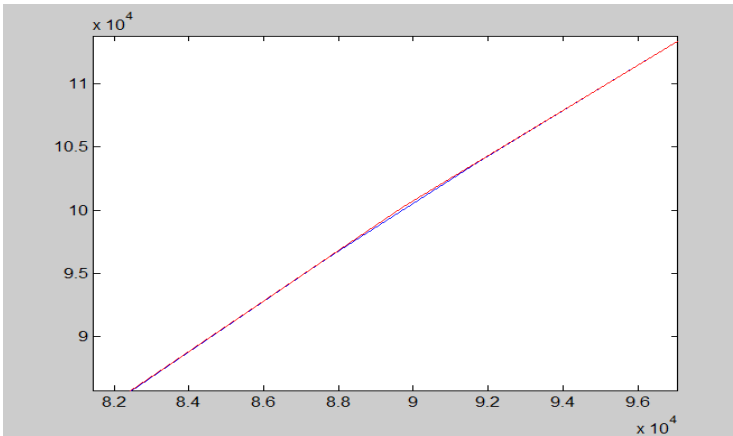
Gambar 4. 9 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan Pembagian 18 Titik Koordinat

Berdasarkan penjelasan sebelumnya bahwa Gambar 4.8 terlihat berhimpitan antara lintasan *desired* dan aktual. Hal tersebut dikarenakan nilai *error* lintasan yang kecil. Sehingga untuk menampilkan kondisi tersebut dilakukan perbesaran gambar seperti pada Gambar 4.10 hingga 4.16 yang ada di bawah ini. Dari hasil gambar perbesaran tampak adanya *error* lintasan yang menunjukkan lintasan dari keduanya ada perbedaan. Berikut perbesaran gambar *error* lintasan sepanjang pelayaran Surabaya-Banjarmasin yang disajikan berupa grafik dalam bentuk gambar.



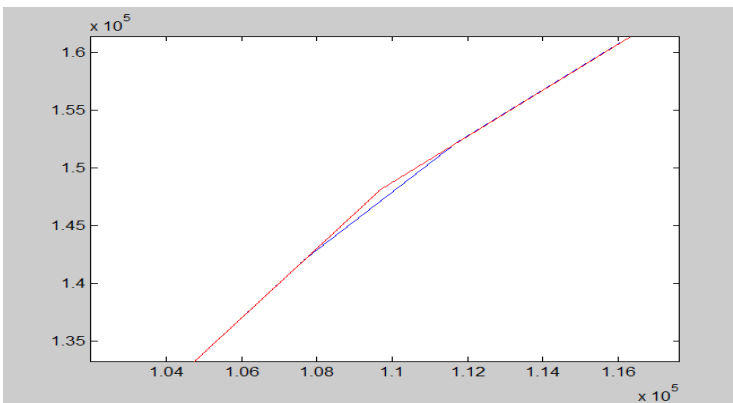
Gambar 4. 10 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 1,18 m

Pelayaran kapal Surabaya-Banjarmasin terjadi perbedaan lintasan antara jarak *desired* dengan jarak aktual. Grafik 4.10 menunjukkan bahwa *error* lintasan kapal terjadi sepanjang $X=2500-15000$ m dengan *error* lintasan sebesar 1,18 m.



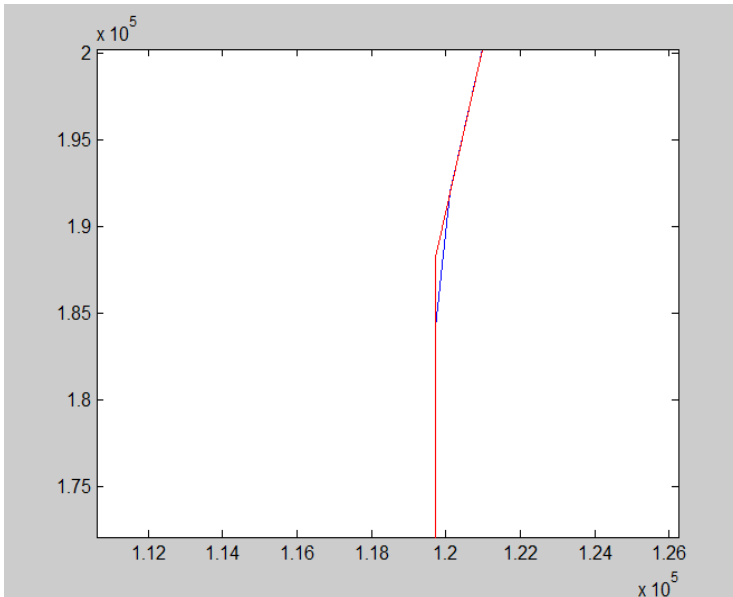
Gambar 4. 11 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 1,17 m

Lintasan selanjutnya pada pelayaran kapal Surabaya-Banjarmasin terjadi perbedaan lintasan antara jarak *desired* dengan aktual. Grafik 4.11 menunjukkan bahwa *error* lintasan kapal terjadi sepanjang $X=8,8-9,3 \times 10^4$ m dengan *error* lintasan sebesar 1,17 m.



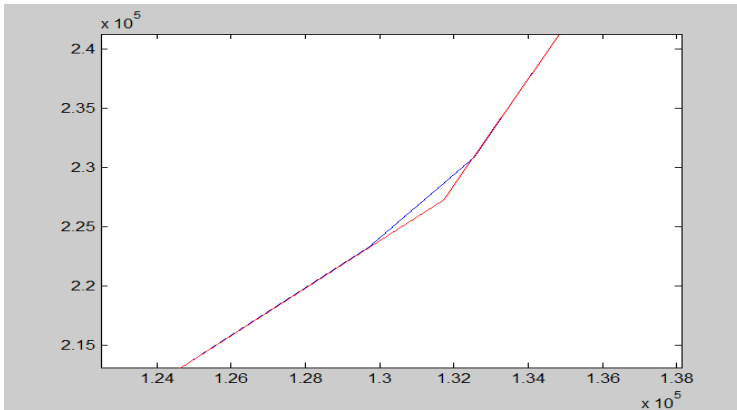
Gambar 4. 12 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 4,65 m

Pelayaran kapal terus berlanjut dan didapatkan perbedaan lintasan antara jarak *desired* dan aktual. Grafik 4.12 menunjukkan bahwa *error* lintasan kapal terjadi sepanjang $X=1,09-1,12 \times 10^5$ m dengan *error* lintasan sebesar 4,65 m.



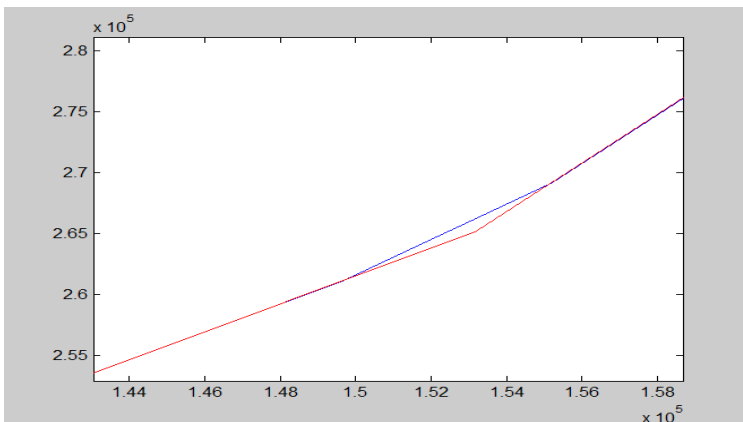
Gambar 4. 13 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 4,75 m

Pelayaran kapal Surabaya-Banjarmasin terus bergerak untuk mencapai tujuan. Namun, ketika mencapai pertengahan laut didapatkan perbedaan lintasan lagi antara jarak *desired* dan aktual. Hal ini dapat dijelaskan melalui grafik 4.13 bahwa perbedaan lintasan terjadi sepanjang $X=1,1-1,2 \times 10^5$ m. dengan *error* lintasan sebesar 4,75 m.



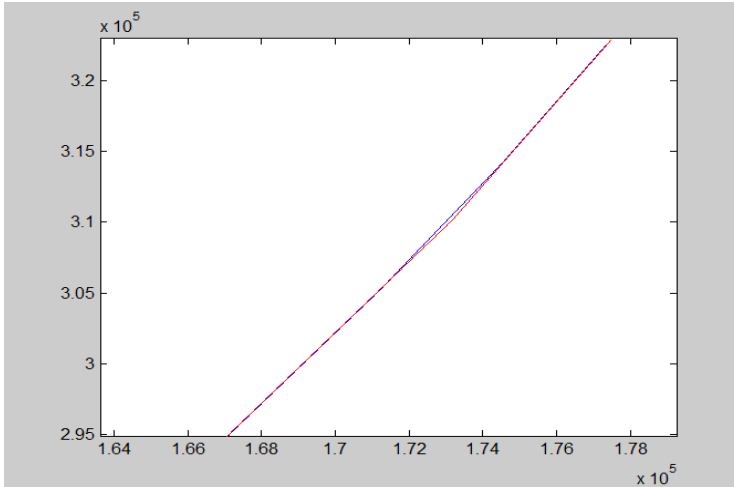
Gambar 4. 14 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 4,46 m

Pelayaran kapal Surabaya-Banjarmasin berikutnya didapatkan perbedaan lintasan antara jarak *desired* dengan jarak aktual. Grafik 4.14 menunjukkan bahwa *error* lintasan kapal terjadi sepanjang $X=1,5-1,55 \times 10^5$ m dengan *error* lintasan sebesar 4,46 m.



Gambar 4. 15 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 3,85 m

Pelayaran kapal Surabaya-Banjarmasin berikutnya sebelum mendekati tempat tujuan didapatkan perbedaan lintasan antara jarak *desired* dengan aktual. Grafik 4.15 menunjukkan bahwa *error* lintasan kapal terjadi sepanjang $X=1,31-1,33 \times 10^5$ m dengan *error* lintasan sebesar 3,85 m.



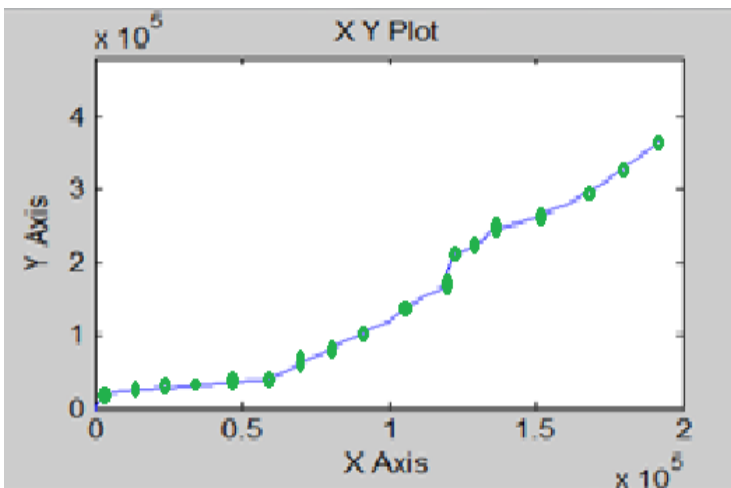
Gambar 4. Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan *error* lintasan 3,36 m

Pelayaran kapal Surabaya-Banjarmasin sebelum akhirnya mendarat di MPMT Banjarmasin didapatkan perbedaan lintasan antara jarak *desired* dengan jarak aktual. Grafik 4.16 menunjukkan bahwa *error* lintasan kapal terjadi sepanjang $X=1,73-1,75 \times 10^5$ m dengan *error* lintasan sebesar 3,36 m.

4.4 Analisa Hasil Uji *Tracking Close Loop* dengan Gangguan

Uji *tracking close loop* dengan gangguan menggunakan pengendali *fuzzy* dan disimulasikan dengan bantuan *software* matlab. Pada simulasi *close loop* dengan gangguan ditambahkan kolom *transfer fcn* untuk memasukkan nilai

fungsi transfer dari pemodelan ketinggian gelombang. Pemodelan gelombang laut pada pengujian ini diturunkan berdasarkan spektrum Pierson-Moskowitz. Uji simulasi pada trayektori dengan gangguan gelombang dilakukan pada kondisi ketinggian gelombang 1,5 dan 2,5 meter. Dua ketinggian gelombang tersebut adalah ketinggian gelombang terkecil dan terbesar yang pernah dilintasi oleh Kapal *Container Tanto Fajar 3* pada pelayaran bulan April-Juni 2016. Berikut adalah gambar grafik lintasan kapal Surabaya-Banjarmasin dengan gangguan ketinggian 1,5 meter. Grafik trayektori disajikan dalam bentuk gambar agar dapat dilihat dengan jelas lintasan yang dilalui kapal sepanjang Surabaya menuju Banjarmasin dengan pembagian 18 titik koordinat.



Gambar 4. 16 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan Gangguan Ketinggian 1,5 meter

Uji simulasi di atas didapatkan data *error* lintasan dan menghasilkan koordinat aktual yang baru setelah diberikan gangguan ketinggian gelombang sebesar 1,5 meter. Koordinat aktual disajikan dalam tabel di bawah ini dengan menyertakan

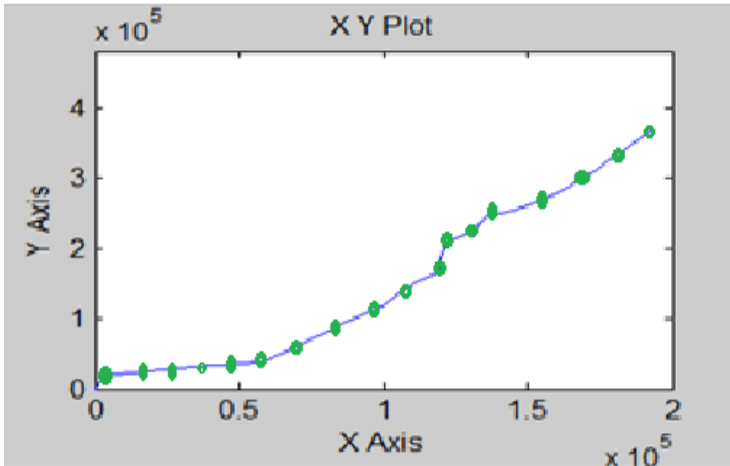
besar nilai *error* lintasan pada tiap titik koordinat sepanjang lintasan Surabaya menuju Bnajarasin. Data-data inilah yang digunakan untuk mengetahui besar beda lintasan antara jarak aktual terhadap jarak *desired*. Berikut koordinat lintasan kapal pada pengujian *close loop* dengan gangguan gelombang setinggi 1,5 meter menggunakan Kendali Logika *Fuzzy* tipe Takagi-Sugeno.

Tabel 4. 2 Koordinat Lintasan Kapal Pada Pengujian *Close Loop* dengan Gangguan Gelombang Setinggi 1,5 meter menggunakan Kendali Logika *Fuzzy* Tipe Takagi-Sugeno

No.	Nama Buoy	Koordinat XY				Error
		Xd	Xa	Yd	Ya	
1.	Buoy Karang Jamuang	0	-1993,83	0	-10227,9	1,18
2.	Titik 1	2000	-1993,45	10227,9	-10225,9	1,18
3.	Titik 2	3000	-1983,89	20227,9	-10177,1	1,18
4.	Titik 3	59706	-1745,03	40227,9	-8955,54	1,18
5.	Titik 4	69706	-512,714	60227,9	-2653,55	1,18
6.	Titik 5	79706	1087,286	80228,4	5528,773	1,17
7.	Titik 6	89706	2006,17	100226,9	10227,9	1,18
8.	Titik 7	99706	2703,38	118187,9	17200,01	1,18
9.	Titik 8	109706	31201	148196,9	30172,12	0,96
10.	Titik 9	119707	59712,17	168196,9	40227,91	2,21
11.	Titik 10	119708	67712,17	188206,9	56227,92	5,04
12.	Titik 11	121710	75712,17	207251,8	72228,23	4,93
13.	Titik 12	131712	83712,17	227251,8	88227,85	4,13
14.	Titik 13	135713	91712,17	245165	103819,2	4,03
15.	Titik 14	153194	99712,17	265165	118188	3,66
16.	Titik 15	163194	107712,2	285165	142195,2	4,44
17.	Titik 16	173194	119713,6	310195,3	176201	3,31
18.	MPMT Banjarmasin	179899	121716,2	330195,3	207251,9	3,24

Uji trayektori selanjutnya adalah pelayaran kapal *container* lintasan Surabaya menuju Banjarmasin dengan gangguan

gelombang ketinggian yang berbeda yaitu dengan ketinggian 2,5 meter. Ketinggian gelombang 2,5 meter merupakan gelombang tertinggi yang terjadi di Laut Jawa selama Kapal *Container Tanto Fajar 3* berlayar. Hasil simulasi yang didapatkan adalah berupa grafik. Berikut grafik lintasan kapal yang didapatkan dari simulasi disajikan dalam bentuk gambar.



Gambar 4. 17 Grafik Lintasan Kapal Surabaya-Banjarmasin dengan Gangguan Ketinggian 2,5 meter

Uji simulasi di atas didapatkan data *error* lintasan dan menghasilkan koordinat aktual yang baru setelah diberikan gangguan dengan ketinggian gelombang sebesar 2,5 meter. Data yang didapatkan pada simulasi ini jika dibandingkan dengan simulasi sebelumnya dengan ketinggian gangguan yang berbeda yaitu 1,5 meter dapat dilihat perbedaan dari hasil perubahan *error* lintasan serta data koordinat aktual yang didapatkan. Hal ini mempengaruhi pada jumlah penggunaan bahan bakar yang digunakan kapal selama melakukan operasi pelayaran. Perbedaan penggunaan jumlah bahan bakar akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Penjelasan tersebut akan

dibandingkan dari uji simulasi trayektori tanpa gangguan gelombang, uji simulasi dengan gangguan gelombang yaitu dengan ketinggian gelombang 1,5 dan 2,5 meter. Berikut data koordinat lintasan Kapal *Container* Tanto Fajar 3 pada pengujian *close loop* dengan gangguan gelombang setinggi 2,5 meter.

Tabel 4. 3 Koordinat Lintasan Kapal Pada Pengujian *Close Loop* dengan Gangguan Gelombang Setinggi 2,5 meter menggunakan Kendali Logika *Fuzzy* Tipe Takagi-Sugeno

No.	Nama Buoy	Koordinat XY				
		Xd	Xa	Yd	Ya	Error
1.	Buoy Karang Jamuang	0	-1993,83	0	-10227,9	1,18
2.	Titik 1	2000	-1993,45	10227,9	-10225,9	1,17
3.	Titik 2	3000	-1983,89	20227,9	-10177,1	1,19
4.	Titik 3	59706	-1745,03	40227,9	-8955,54	1,18
5.	Titik 4	69706	-537,56	60227,9	-2780,61	1,18
6.	Titik 5	79706	1062,44	80228,4	5401,71	1,18
7.	Titik 6	89706	2006,17	100226,9	10227,9	1,04
8.	Titik 7	99706	2765,5	118187,9	17821,15	0,95
9.	Titik 8	109706	34723,24	148196,9	31414,4	2,82
10.	Titik 9	119707	59712,17	168196,9	40227,91	4,58
11.	Titik 10	119708	65745,93	188206,9	52295,44	5,09
12.	Titik 11	121710	73745,93	207251,8	68295,66	5,02
13.	Titik 12	131712	79712,17	227251,8	80228,44	4,84
14.	Titik 13	135713	87712,17	245165	96227,26	4,42
15.	Titik 14	153194	95712,17	265165	111003,6	4,03
16.	Titik 15	163194	103712,2	285165	130191,6	3,7
17.	Titik 16	173194	119713,2	310195,3	168197	3,57
18.	MPMT Banjarmasin	179899	120915,4	330195,3	199634	3,32

Dalam gambar di atas terdapat 18 titik koordinat sepanjang lintasan Surabaya-Banjarmasin. Sepanjang 18 titik koordinat pada uji trayektori dengan gangguan tersebut didapatkan *error*

lintasan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan *error* lintasan sebelumnya yaitu pada uji *close loop* tanpa gangguan. Begitu pula pada hasil uji trayektori dengan gangguan ketinggian gelombang 2,5 meter didapatkan *error* lintasan relatif sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan uji trayektori ketinggian gelombang 1,5 meter.

Tabel 4.2 menunjukkan nilai *error* terkecil ada pada titik koordinat 8 dengan *error* lintasan sebesar 0,96 meter. Dan nilai *error* lintasan tertinggi pada pengujian *close loop* dengan gangguan gelombang setinggi 1,5 meter ini ada pada titik 10 yaitu sebesar 5,04 meter. Rata-rata *error* lintasan 2,52 meter. Dan pada tabel 4.3 uji trayektori dengan gangguan gelombang ketinggian 2,5 meter nilai *error* lintasan terkecil adalah 0,95 meter pada titik koordinat 7 dan *error* lintasan terbesar bernilai 5,09 pada titik koordinat 10. Rata-rata *error* lintasan 2,8 meter. Perubahan nilai *error* lintasan akan mengakibatkan perubahan perhitungan *heading* pada kapal sehingga dengan adanya masukan berupa nilai *error* tersebut akan membuat kendali logika *fuzzy* mengeluarkan perintah berupa *command rudder* terhadap aktuator sehingga *rudder* akan memberikan gaya pada kapal untuk berbelok sesuai dengan *rule base fuzzy* yang telah ditentukan.

Nilai toleransi *error* lintasan kapal pada perancangan kendali trayektori dengan kendali *rudder* menggunakan logika *fuzzy* adalah sebesar 0,1 dari nilai Lpp. Nilai Lpp yang tertera pada Tabel 3.1 sebesar 90,22 meter, sehingga nilai toleransi maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar 9,022 meter. Nilai *error* lintasan pada uji trayektori tanpa dan dengan gangguan gelombang bernilai tidak lebih dari batas nilai toleransi. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa level *sea state* yang dilalui oleh Kapal *Container* Tanto Fajar 3 adalah *sea state moderate* dengan rentang tinggi gelombang 1,5 sampai 2,5 selama melakukan pelayaran pada bulan April hingga Juni 2016.

4.5 Perhitungan Penggunaan Bahan Bakar Setelah Dilakukan Perancangan Pengendali

Kapal *Container* Tanto Fajar 3 melakukan pelayaran dengan jarak lintasan yang berubah-ubah setiap melakukan operasi pelayaran, sehingga jarak lintasan yang berbeda-beda tersebut mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan selama melakukan operasi pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Perubahan jarak tempuh lintasan dipengaruhi oleh gangguan gelombang laut. Analisa penggunaan bahan bakar kali ini dilakukan uji trayektori dengan menggunakan KLF Takagi-Sugeno sebagai pengendali. Simulasi yang digunakan dengan menggunakan bantuan *Software* Matlab. Didapatkan sebanyak 18 *error* lintasan sesuai dengan pembagian titik koordinat sepanjang lintasan Surabaya-Banjarmasin. Analisa penggunaan bahan bakar Kapal *Container* Tanto Fajar 3 dikondisikan dalam 2 keadaan yaitu pada saat trayektori tanpa gangguan dan dengan gangguan gelombang. Trayektori dengan gangguan ketinggian gelombang yang berbeda yaitu gelombang pada ketinggian sebesar 1,5 dan 2,5 meter. Uji simulasi yang dilakukan tersebut akan mendapatkan nilai beda lintasan kapal yang dilambangkan sebagai A . A (km) adalah nilai beda lintasan yang didapatkan dari perancangan kendali pada sistem kapal yang telah dilakukan di BAB 3. Data tersebut akan diolah dengan data yang telah didapatkan dari Perusahaan Pelayaran Tanto Intim Line Surabaya. Salah satu data tersebut adalah N . N (ℓ/km) adalah volume bahan bakar yang habis digunakan selama melakukan operasi pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Perhitungan penggunaan bahan bakar (BB) dalam satuan liter didapatkan dari perhitungan $N \times A$. Perhitungan ini diterapkan pada pelayaran kapal yang pernah dilakukan Kapal *Container* Tanto Fajar 3 pada periode bulan April-Juni 2016 yang dilakukan sebanyak 6 kali pelayaran. Pelayaran tersebut memiliki konsumsi bahan bakar yang berbeda karena panjang lintasan yang berbeda pula. Perbedaan

panjang lintasan tersebut akibat gangguan ketinggian gelombang yang tidak sama. Berikut adalah tabel analisa penggunaan bahan bakar Kapal *Container* Tanto Fajar 3 dengan lintasan Surabaya-Banjarmasin sebanyak 6 kali pelayaran.

Tabel 4. 4 Penggunaan Bahan Bakar (ℓ/km) Rute Surabaya-Banjarmasin Berdasarkan Data Real

Posisi	Tanggal	Panjang Lintasan Tempuh (km)	Konsumsi Bahan Bakar (ℓ)	Penggunaan Bahan Bakar (ℓ/km)
Surabaya-Banjarmasin	5-04-2016	414,85	10443	25,17
Surabaya-Banjarmasin	13-04-2016	414,85	10018	24,15
Surabaya-Banjarmasin	20-04-2016	414,85	9204	22,19
Surabaya-Banjarmasin	21-05-2016	409,29	8496	20,76
Surabaya-Banjarmasin	18-06-2016	407,44	9165	22,49
Surabaya-Banjarmasin	26-06-2016	413	8844	21,41

Data di atas dapat diketahui bahwa konsumsi bahan bakar yang digunakan berubah-ubah. Hal tersebut diakibatkan karena panjang lintasan tempuh yang dilalui kapal berbeda pula. Perbedaan panjang jarak tempuh tersebut akibat dari keadaan laut yang mengalami ketinggian gelombang yang berbeda pada saat kapal melakukan operasi pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin. Perbedaan ketinggian gelombang tersebut dituliskan pada tabel 4.5 tentang keadaan laut Jawa ketika kapal *container* melakukan operasi pelayaran pada periode bulan April -Juni 2016. Berikut adalah tabel yang menjelaskan pengaruh ketinggian gelombang Laut Jawa pada penggunaan

bahan bakar kapal saat melakukan operasi pelayaran dari Surabaya menuju Banjarmasin.

Tabel 4. 5 Keadaan Laut Jawa ketika kapal *container* melakukan pelayaran pada periode bulan April-Juni 2016

Posisi	Tanggal	Penggunaan Bahan Bakar (ℓ/km)	Keadaan Laut Jawa (Ketinggian Gelombang),(m)
Surabaya-Banjarmasin	5-04-2016	25,17	2,5
Surabaya-Banjarmasin	13-04-2016	24,15	2,4
,Surabaya-Banjarmasin	20-04-2016	22,19	1,8
Surabaya-Banjarmasin	21-05-2016	20,76	1,5
Surabaya-Banjarmasin	18-06-2016	22,49	2
Surabaya-Banjarmasin	26-06-2016	21,41	1,6

Data di atas menunjukkan bahwa pada saat jadwal pelayaran kapal periode bulan April-Juni 2016 keadaan laut tergolong pada *moderate sea* yang memiliki rentang ketinggian gelombang antara 1,25-2,5 meter. Tabel di atas menjelaskan bahwa semakin tinggi gangguan gelombang maka semakin banyak jumlah bahan bakar yang digunakan (ℓ/km). Setelah mengetahui keadaan real penggunaan bahan bakar pada kapal *container* maka berikut adalah menganalisa penggunaan bahan bakar kapal *container* setelah dilakukan rancangan pengendali. Terdapat 3 keadaan yaitu trayektori tanpa gangguan gelombang dan dengan adanya gangguan gelombang laut dengan ketinggian 1,5 dan 2,5 meter. Berikut adalah Tabel 4.6 yang menjelaskan mengenai penggunaan bahan bakar saat trayektori kapal tanpa gangguan dimana telah dilakukan rancangan pengendali pada kapal *container*.

4.5.1. Pengurangan Lintasan Kapal *Container* dari Surabaya-Banjarmasin Dalam Keadaan Tanpa dan Dengan Adanya Gangguan Gelombang

Pengurangan lintasan kapal sangat mempengaruhi pada penggunaan bahan bakar suatu kapal. Pengurangan lintasan kapal tersebut dikarenakan telah dilakukan rancangan kendali pada sistem kapal. Rancangan pengendali dilakukan untuk mengendalikan laju kapal agar tetap berlayar mengikuti rute Surabaya-Banjarmasin baik dalam keadaan tanpa dan dengan adanya gangguan gelombang di Laut Jawa. Gangguan gelombang pada Laut Jawa pada penelitian ini salah satunya terjadi saat gelombang berada pada ketinggian 1,5 dan 2,5 meter. Penelitian ini melakukan simulasi trayektori pada dua keadaan tersebut dengan menampilkan hasilnya berupa tabel. Tabel tersebut menjelaskan besar pengurangan lintasan kapal saat berlayar dari Surabaya-Banjarmasin yaitu A (km). A merupakan beda panjang lintasan kapal yaitu hasil selisih dari jarak *desired* terhadap jarak aktual (km). Berikut adalah pengurangan panjang lintasan kapal yang disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 4. 6 Pengurangan Panjang Lintasan Kapal *Container* Dalam Keadaan Tanpa dan Dengan Gangguan Gelombang

Jarak <i>Desired</i> (km)	Trayektori tanpa Gangguan		Trayektori dengan Gangguan			
			Ketinggian 1,5 m		Ketinggian 2,5 m	
	Jarak <i>Actual</i> (km)	A (km)	Jarak <i>Actual</i> (km)	A (km)	Jarak <i>Actual</i> (km)	A (km)
414,85	402,78	12,07	405,45	9,4	406,4	8,45
414,85	402,78	12,07	405,45	8,16	406,4	8,45
414,85	402,78	1,06	405,45	8,16	406,4	8,45
409,29	402,78	6,51	405,45	3,84	406,4	2,89
407,44	402,78	4,66	405,45	1,99	406,4	1,04
413	402,78	10,22	405,45	7,55	406,4	6,6

Pengurangan lintasan yang dijelaskan pada tabel di atas menunjukkan bahwa kapal yang telah diberikan rancangan kendali selama melakukan pelayaran baik dalam keadaan tanpa dan dengan adanya gangguan (ketinggian gelombang 1,5 dan 2,5 meter) memberikan dampak pada pengurangan lintasan. Pengurangan lintasan pada trayektori tanpa gangguan cenderung lebih besar dibandingkan dengan trayektori dengan adanya gangguan gelombang. Ketika trayektori dengan adanya gangguan gelombang pada ketinggian gelombang 1,5 meter pengurangan lintasan cenderung lebih besar dibandingkan dengan trayektori dengan ketinggian 2,5 meter. Artinya kecepatan sampai hingga tujuan pelayaran dengan penggunaan bahan bakar yang hemat sangat dipengaruhi oleh ketinggian gangguan gelombang. Oleh karenanya, untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar yang berlebih akibat gangguan gelombang sangat diperlukan rancangan pengendali pada sistem kapal.

4.5.2. Analisa Penggunaan Bahan Bakar Kapal *Container* Tanto Fajar 3 Surabaya-Banjarmasin Dalam Keadaan Tanpa dan dengan Adanya Gangguan Gelombang Laut

Analisa penggunaan bahan bakar kapal dapat dihitung setelah mengetahui berapa beda panjang lintasan kapal (A) selama melakukan pelayaran. Hasil perhitungan bahan bakar tersebut dijelaskan dalam bentuk tabel. Tabel tersebut menjelaskan jumlah bahan bakar yang digunakan kapal setelah dilakukan rancangan pengendali. Bahan bakar tersebut dilambangkan sebagai BB dalam satuan liter. Perhitungan bahan bakar tersebut adalah hasil perkalian antara nilai N (ℓ/km) dan A (km). N merupakan jumlah bahan bakar yang dihabiskan pada saat pelayaran kapal sepanjang Surabaya-Banjarmasin sebelum dilakukan rancangan pengendali pada kapal. Berikut adalah analisa penggunaan bahan bakar kapal

container dalam keadaan tanpa dan dengan adanya gangguan gelombang laut.

Tabel 4. 7 Analisa Penggunaan Bahan Bakar Kapal *Container* Tanto Fajar 3 Surabaya-Banjarmasin Dalam Keadaan Tanpa dan Dengan Adanya Gangguan Gelombang

N (t/km)	Trayektori tanpa Gangguan		Trayektori dengan Gangguan			
			Ketinggian 1,5 m		Ketinggian 2,5 m	
	A (km)	BB (t)	A (km)	BB (t)	A (km)	BB (t)
25,17	12,07	303,8	9,4	236,6	8,45	212,69
24,15	12,07	291,49	8,16	197,06	8,45	204,07
22,19	1,06	23,52	8,16	181,07	8,45	187,51
20,76	6,51	135,15	3,84	79,72	2,89	60
22,49	4,66	104,8	1,99	44,76	1,04	23,39
21,41	10,22	218,81	7,55	161,65	6,6	141,31

Berdasarkan dari analisa di atas dapat kita ketahui bahwa penggunaan bahan bakar untuk kapal *container* ketika telah dilakukan rancangan pengendali pada kapal selama melintasi rute Surabaya-Banjarmasin mampu mengurangi penggunaan bahan bakar relative besar. Hal tersebut terjadi pada rancangan pengendali trayektori kapal tanpa gangguan. Dan pada rancangan pengendali terhadap trayektori kapal yang mengalami gangguan gelombang laut relative lebih sedikit pengurangan penggunaan bahan bakarnya. Hal ini bergantung pada ketinggian gelombang yang mengganguya semakin tinggi gelombang laut yang mengganggu maka semakin sedikit pengurangan penggunaan pada kapal *container*. Oleh karena itu, ketinggian gelombang yang besar dapat dikendalikan dengan rancangan pengendali yang lebih kuat dan terkendali.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir mengenai “Analisis Penggunaan Bahan Bakar Akibat Rancangan Pengendali *Trajectory* pada Kapal *Container* dengan Lintasan Surabaya-Banjarmasin” adalah:

1. Hasil uji *open loop* 20⁰ mencapai *set point* pada detik ke 12,723 dan *open loop* 30⁰ mencapai *set point* pada detik ke 12,724. Respon sinyal mengalami kenaikan sampai waktu yang tak terhingga.
2. Hasil uji *close loop* 20⁰ mencapai *set point* pada detik ke 17,668 dalam kondisi stabil dan *close loop* 30⁰ mencapai *set point* pada detik ke 29,337 juga dalam keadaan stabil.
3. Kondisi Laut Jawa yang dilalui Kapal *Container* Tanto Fajar 3 adalah *sea state moderate* dengan rentang tinggi gelombang 1,5 sampai 2,5 selama pelayaran periode bulan April-Juni 2016.
4. Setelah dilakukan perancangan pengendali didapatkan *error* lintasan, yaitu:
 - Trayektori kapal *container* tanpa gangguan didapatkan rata-rata *error* lintasan sebesar 2,47 meter.
 - Trayektori kapal *container* dengan gangguan ketinggian gelombang 1,5 meter didapatkan rata-rata *error* lintasan sebesar 2,52 meter sedangkan pada gangguan ketinggian gelombang 2,5 meter didapatkan rata-rata *error* lintasan sebesar 2,8 meter.
5. Setelah dilakukan perancangan pengendali didapatkan pengurangan lintasan kapal pada trayektori kapal *container*, yaitu:

- Trayektori kapal *container* tanpa gangguan didapatkan pengurangan lintasan kapal maksimal sebesar 12,07 km.
 - Trayektori kapal *container* dengan gangguan ketinggian gelombang 1,5 meter didapatkan pengurangan lintasan kapal maksimal sebesar 9,4 meter dan pada gangguan ketinggian gelombang 2,5 meter didapatkan pengurangan lintasan kapal maksimal sebesar 8,45 meter.
6. Pengurangan penggunaan bahan bakar yang digunakan kapal selama berlayar Surabaya-Banjarmasin setelah dilakukan rancangan pengendali pada sistem kapal, yaitu:
- Trayektori kapal tanpa gangguan didapatkan pengurangan penggunaan bahan bakar sebesar 303,8 liter
 - Trayektori kapal dengan gangguan ketinggian gelombang 1,5 meter didapatkan pengurangan penggunaan bahan bakar maksimal sebesar 236,6 liter dan pada gangguan ketinggian gelombang 2,5 meter didapatkan pengurangan penggunaan bahan bakar maksimal sebesar 212,69 liter.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan agar analisa penggunaan bahan bakar dapat dianalisa dengan hasilnya yang maksimal maka sebaiknya gangguan yang diberikan pada perancangan pengendali tidak hanya berupa gelombang laut namun dapat dikembangkan dengan gangguan arus atau angin. Selain itu untuk pengambilan data berupa gangguan akan lebih baik jika didapatkan langsung dari sumber utama yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya dimana data yang diambil adalah 1 (satu) tahun sebelum penelitian. Analisa penggunaan bahan bakar dapat dikembangkan dengan memberikan optimasi penggunaan bahan bakar yang lebih

efisien terhadap lintasan Surabaya-Banjarmasin. Selain itu, perlu diperhatikan pada uji simulasi yaitu lebih teliti dalam merancang simulasi agar akurasi data yang didapatkan maksimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. M., & Aisjah, S. A. (2016). *Perancangan Sistem Kendali Logika Fuzzy Kapal Perang Kawal Rudal - KRI Diponegoro Kelas SIGMA Untuk Memperoleh Sinyal Kendali Optimal, Teknik Fisika-FTI-ITS Surabaya*.
- Adrium, T., & Febriken. (2013). *Permasalahan Indonesia sebagai Negara Kepulauan, Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Aisjah, A. S. (2012). *System autopilot Kapal Perang Kelas SIGMA, Teknik Fisika-FTI-ITS Surabaya*.
- Arifin, S. (2011). *Himpunan Fuzzy*. Surabaya.
- Arifin, S. (2011). *Sisyem Fuzzy*. Surabaya.
- Aripin, R., Samuel, & Amiruddin, W. (2014). *Perancangan Kapal Container 9000 DWT Rute Surabaya-Banjarmasin*. Semarang: Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- Ashari, A. R. (2014). *Perancangan Sistem Kontrol Optimal Trajectory pada Kapal Tanker di Perairan Tanjung Perak-Surabaya dengan Metode Linear Quadratic Gaussian (LQG)*. Surabaya: Jurusan Teknik Fisika, FTI ITS.
- Bertram, V. (2000). *Practical Ship Hydrodynamic buoyweather*. (t.thn.). Diambil kembali dari www.buoyweather.com.
- D., G. (2014). *Mengenal 4 Korvet Kelas SIGMA TNI AL*. Retrieved from <http://www.artileri.org/2014/03/4-korvet-kelas-SIGMA-tni-al.html>.
- Fossen, T. I. (1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. Delft: University of Trondheim Norway.

- Fossen, T. I. (1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. England: University of Trondheim Norway.
- Fossen, T. I. (1996). *Guidance and control of ocean vehicles. Automatica (Vol 32)*. Chichester: John Wiley & Sons. [http://doi.org/10.1016/0005-1098\(96\)82331-4](http://doi.org/10.1016/0005-1098(96)82331-4).
- Fossen, T. I. (2005). *a Nonlinear Unified State-Space Model for Ship Manuvering and Control in Seaway International Journal of Bifraction and Chaos, 15(09)*, 2714-2746.
- Handito, R. (2012). *Perancangan Sistem Guidance Untuk Membangun Autopilot Kapal PKR KRI Kelas Sigma, Teknik FIsika-FTI-ITS Surabaya*.
- Handito, R. (2012). *Perancangan Sistem Guidance Untuk Membangun Autopilot Kapal PKR KRI Kelas Sigma. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 1, 5*.
- Hespana, J. P. (2009). *Linear System Theory*.
- Iu zou. (2013). *Numerical prediction of ship-to-ship interaction in shallow water, Chalmers University of technology, Sweden*.
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lewis, F. L. (1992). *Applied Optimal Control and Estimation*.
- Maritim, B. M. (2016).
- Maritim, B. M. (2016).
- Ogata, K. (2009). *Modern control engineering. IEEE Transactions on Automatic Control (4th ed., Vol. 17)*. New Jersey: Prentice Hall. <http://doi.org/10.1109/TAC.1972.1100013>.

- Prananda, J., Aisjah, A. S., & Masroeri, A. A. (2012). *Perancangan Sistem Kendali Cerdas Kapal Perang Kawal Rudal - KRI Diponegoro Kelas SIGMA Untuk Meningkatkan Manuverability Menggunakan Metode Logika Fuzzy*, Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Resolution MSC. (2002). (Vol 137).
- Sari, R. M. (2016). *Perancangan Sistem Guidance pada Kapal LNG Tanker untuk Memenuhi Trajectory Rute Surabaya-Banjarmasin Berbasis Logika Fuzzy*. Surabaya: Jurusan Teknik Fisika, FTI ITS.
- Vinaya, A. A. (2013). Perancangan Sistem Kontrol Trajectory pada Kondisi Gangguan Arus Laut Non Uniform di Ketapang-Gilimanuk. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 2 No. 2*, 6.
- W., G. Y., Aisjah, S. A., & Masroeri, A. A. (2014). *Perancangan Sistem Kontrol OPTIMAL pada Berthing di Dermaga Tanjung Perak Surabaya*, 1-5.
- Zadeh, A. (1965). *Fuzzy Sets*. California: Berkeley: Departement of Electrical Engineering and Electronics Research Laboratory, University of California.

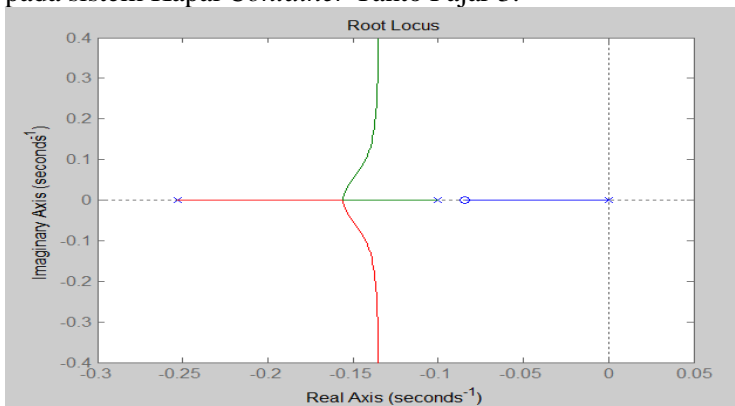
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran A. Uji Analisis *Root-Locus*

Uji Analisis *Root-Locus*

Uji *root-locus* berguna untuk mengetahui kestabilan dari fungsi transfer dinamika Kapal *Container Tanto Fajar 3*. Gambar di bawah ini merupakan diagram *root-locus* yang menggambarkan akar-akar persamaan karakteristik *open-loop* pada sistem Kapal *Container Tanto Fajar 3*.



Gambar 1. Diagram *Root-Locus Open-Loop* Kapal *Container Tanto Fajar 3*

Berdasarkan Gambar di atas didapati bahwa nilai *zero* dan *pole* adalah.

$$z_1 = -0,13$$

$$p_1 = 0+0i; p_2 = -0,1+0i; p_3 = -0,25+0i$$

Seluruh akar-akar dari fungsi transfer kapal berada pada ruas sebelah kiri yang menandakan bahwa sistem stabil. Dan karena ada pole yang berada pada titik 0 maka disebut *critically stable*.

Lampiran B. Koordinat Pelayaran Surabaya-Banjarmasin

Data koordinat pelayaran Surabaya-Banjarmasin yang didapatkan dari penelitian sebelumnya dengan titik acuan di Greenwich, Inggris.. (Sari, 2016) Data tersebut kemudian diolah dengan mengganti titik acuan pada titik 0° di Buoy Karang Jamuang. Berikut adalah tabel yang menjelaskan data sebelumnya yang telah di konvert dalam satuan meter.

Tabel 1. Koordinat Pelayaran Surabaya-Banjarmasin

No.	Nama Buoy	Koordinat			
		X (°,’,’')	Y (°,’,’')	X (meter)	Y (meter)
1	Buoy Karang Jamuang	112,49,30	06,37,30	12561375	12541331,17
2	Titik 1	112,55,25	06,30,15	12581375	12541332,44
3	Titik 2	11310,15	06,17,10	12591375	12541338,81
4	Titik 3	113,15,26	06,03,10	12621081	12541370,66
5	Titik 4	11320,30	05,50,30	12631081	12541529,91
6	Titik 5	113,25,12	05,37,25	12641081	12542326,12
7	Titik 6	113,30,10	05,31,20	12651081	12546307,19
8	Titik 7	113,40,28	05,20,30	12661081	12550813,49
9	Titik 8	113,50,5	05,15,30	12671081	12558142,34
10	Titik 9	113,55,10	05,10,20	12681082	12566142,34
11	Titik 10	113,55,17	04,50,15	12681083	12574142,34
12	Titik 11	113,55,24	04,45,30	12683085	12581331,17
13	Titik 12	114,5,22	04,30,25	12693087	12585331,17
14	Titik 13	114,12,40	04,23,15	12697088	12589331,17
15	Titik 14	114,15,15	04,10,20	12714569	12597272,37
16	Titik 15	114,20,30	03,50,15	12724569	12609154,77
17	Titik 16	114,23,15	03,45,27	12734569	12541331,17
18	Buoy MPMT Banjarmasin	114,26,50	03,39,30	12741274	12541332,44

Konversi Koordinat

Sistem koordinat terdiri dari dua komponen yaitu bujur dan lintang (atau dalam bahasa inggris disebut *Latitude-Longitude*). Garis lintang (*Latitude*) adalah garis dari atas ke bawah (vertikal) yang menghubungkan kutub utara dengan kutub selatan bumi. Sedangkan garis bujur (*Longitude*) adalah garis mendatar yang sejajar dengan garis khatulistiwa. Cara menentukan koordinat bujur lintang adalah sama dengan perhitungan lingkarannya itu derajat ($^{\circ}$), detik ($''$) dan menit ($'$).

1° (derajat) bujur/lintang = 111,322 km = 111.322 meter

1° (derajat) bujur/lintang = 60' (menit) = 3600'' (detik)

$1'$ (menit) bujur/lintang = 60'' (detik)

$1'$ (menit) bujur/lintang = 1.885,37 meter

$1''$ (detik) bujur/lintang = 30,9227 meter

Lampiran C. Pengurangan Panjang Lintasan Kapal *Container* tanpa Gangguan Gelombang Laut

Berikut adalah tabel pengurangan panjang lintasan kapal *container* tanpa Gangguan gelombang laut. Data ini digunakan untuk mendapatkan nilai A (total beda panjang lintasan kapal) dalam satuan km.

Tabel 2. Pengurangan Panjang Lintasan Kapal Container tanpa Gangguan Gelombang Laut

No.	Jarak Desired (m)	Jarak Aktual (m)	Selisih lintasan Tempuh (m)
1.	0	10420,42	-10420,4
2.	10421,61	10419,76	1,84
3.	20449,15	10416,44	10032,71
4.	71993,68	10316,86	81804,39
5.	92121,26	9901,97	103189,3
6.	113091,3	7827,52	126681,2
7.	134508,7	1660,46	182724,3
8.	154627,5	6676,83	216374,4
9.	184384,7	14429,92	248232,3
10.	206446	49090,13	279469,4
11.	223051,2	79907,26	296114,8
12.	240346,9	88014,29	-88014,3
13.	262662,2	104638,64	-104639
14.	280221,2	121621,84	-121622
15.	306236,6	166451,32	-166451
16.	382559,5	197617,04	-197617
17.	355270,7	219688,14	-219688
18.	376022,1	233397,08	-233397

Berikut adalah pengurangan lintasan kapal *container* dengan gangguan gelombang laut sebesar 1,5 meter. Ketinggian gelombang tersebut merupakan ketinggian gelombang yang terkecil selama kapal *container* melakukan operasi pelayaran pada periode bulan April-Juni 2016 sepanjang Surabaya-Banjarmasin.

Tabel 3. Pengurangan Panjang Lintasan Kapal Container dengan Gangguan Gelombang Laut 1,5 meter

No.	Jarak Desired (m)	Jarak Aktual (m)	Selisih lintasan Tempuh (m)
1.	0	10420,42	-10420,42
2.	10421,61	10420,09	1,51
3.	20449,15	10418,43	10030,71
4.	71993,68	10368,64	81752,61
5.	92121,26	10161,2	102930,09
6.	113091,3	2702,62	181682,1
7.	134508,7	5634,67	217416,53
8.	154627,5	9803,31	230543,58
9.	184384,7	17411,16	288825,47
10.	206446	23752,25	304807,26
11.	223051,2	66034,32	264160,97
12.	240346,9	79907,27	-79907,27
13.	262662,2	138526,31	-138526,32
14.	280221,2	154631,54	-154631,55
15.	306236,6	206449,69	-206449,7
16.	382559,5	213021,44	-213021,45
17.	355270,7	233397,19	-233397,19
18.	376022,1	240350,14	-240350,15

Berikut adalah pengurangan lintasan kapal *container* dengan gangguan gelombang laut sebesar 2,5 meter. Ketinggian gelombang tersebut merupakan ketinggian gelombang yang terbesar selama kapal *container* melakukan operasi pelayaran pada periode bulan April-Juni 2016 sepanjang Surabaya-Banjarmasin.

Tabel 4. Pengurangan Panjang Lintasan Kapal Container dengan Gangguan Gelombang Laut 1,5 meter

No.	Jarak Desired (m)	Jarak Aktual (m)	Selisih lintasan Tempuh (m)
1.	0	10420,42	-10420,42
2.	10421,61	2832,09	137559,86
3.	20449,15	1336,57	134447,22
4.	71993,68	5505,2	139043,22
5.	92121,26	9673,84	139834,41
6.	113091,3	10422,79	149566,52
7.	134508,7	14022,11	150017,04
8.	154627,5	18034,45	159667,15
9.	184384,7	26328,99	162108,13
10.	206446	46824,86	148821,01
11.	223051,2	69634,06	142624,84
12.	240346,9	71998,8	-71998,8
13.	262662,2	84007,93	-84008
14.	280221,2	92195,64	-92195,6
15.	306236,6	154631,54	-154631,5
16.	382559,5	197617,12	-197617,1
17.	355270,7	213021,45	-213021,5
18.	376022,1	233397,2	-233397,2

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis Susi Yanti Nurraini yang dilahirkan di Kota Jombang pada tanggal 06 Juni 1991 dari ayah bernama H. Fatoni dan ibu bernama Hosna. Penulis merupakan anak ke-4 dari 6 bersaudara. Pada tahun 2004, penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN Candi Mulyo 1 Jombang. Pada tahun 2007 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat Pertama di SMPN 1 Jombang. Tahun 2010 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMA PGRI 1 Jombang. Tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan diploma di DIII-Otomasi Sistem Instrumentasi, Fakultas Sains Teknologi, Universitas Airlangga. Tahun 2017 ini penulis menyelesaikan pendidikan sarjana di S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil yaitu Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol dengan Tugas Akhir berjudul “ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN BAKAR AKIBAT RANCANGAN PENGENDALI *TRAJECTORY* PADA KAPAL *CONTAINER* DENGAN LINTASAN SURABAYA-BANJARMASIN”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email susiyanti.nurraini@gmail.com.